NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ÉMILE HAUG

PROFESSEUR-ADJOINT DE GÉOLOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS
ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
COLLABORATEUR PRINCIPAL AU SERVICE DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE FRANCE
LAURÉAT DE L'INSTITUT

LILLE
LE BIGOT FRÈRES, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
68, rue Nationale, et rue Nicolas-Leblanc, 25

1903

GRADES ET FONCTIONS

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

1888. Licencié ès-sciences naturelles.

1888. Chef des travaux pratiques de Géologie.

1890. Chargé d'assurer le service des conférences de Géologie.

1891. Chargé d'assurer le service des conférences de Paléontologie.

1891. Docteur ès-sciences naturelles.

1897. Maître de conférences de Géologie.

1900. Professeur-adjoint.

TITRES ET DISTINCTIONS

1884. Docteur ès-sciences de l'Université de Strasbourg.

1888. Collaborateur adjoint au Service de la Carte géologique de France.

1892. Collaborateur principal au Service de la Carte géologique de France.

1893. Lauréat de la Société géologique de France (prix Viquesnel).

1894. Vice-président de la Société géologique de France.

1899. Lauréat de l'Académie des Sciences (prix Fontannes).

1901. Vice-président de la Société géologique de France.

1902. Président de la Société géologique de France.

1903. Présenté en troisième ligne par la section de Minéralogie de l'Académie des Sciences.

Né de parents français, dans les provinces annexées, j'ai fait mes premières études de sciences naturelles à l'Université de Strasbourg. J'y fus reçu docteur ès-sciences en décembre 1884 et j'y ai rempli les fonctions de préparateur à l'Institut géognostique et paléontologique jusqu'en 1887. A cette date, la situation politique m'obligea à quitter le pays pour recommencer mes études à une autre École. Je reçus alors le plus bienveillant accueil au Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Paris, où j'avais déjà travaillé pendant plusieurs mois en 1883-84. Aussitôt réintégré dans la nationalité française, je fus nommé boursier d'études à la Faculté, sur la proposition de M. Hébert, alors doyen, et je passai l'année suivante ma licence ès-sciences naturelles.

En 1888, les fonctions de chef des travaux pratiques me furent confiées; je n'ai pas cessé depuis lors de faire partie du Laboratoire de Géologie de la Sorbonne; j'y ai travaillé sous la direction de mes maîtres, MM. Hébert, Charles Vélain et Munier-Chalmas.

Depuis ma nomination comme Maître de Conférences, j'ai supporté une grande partie de la charge de l'enseignement; j'ai conduit les excursions des élèves et j'ai pris une large part à l'activité du Laboratoire de recherches, notamment en secondant le professeur titulaire dans la direction des travaux de thèses. Je puis citer, parmi les mémoires élaborés dans ce Laboratoire et qui ont, dans ces dernières années, valu à leurs auteurs le titre de docteur ès-sciences naturelles, ceux de MM. Anastasiu, Popovici, Dercims, Gentil, Pervinquière. Plusieurs autres thèses sont actuellement en préparation. J'ai moi-même indiqué à leurs auteurs les sujets de quelques-uns de ces travaux.

APERÇU GÉNÉRAL

Les travaux dont je vais exposer les résultats se répartissent entre trois branches bien différentes des sciences géologiques, ils sont d'ordre *paléontologique*, *stratigraphique* et *tectonique*. Néanmoins, un lien commun les rassemble tous et leur confère une certaine unité d'orientation : c'est la constante préoccupation d'apporter des contributions nouvelles à l'histoire de l'évolution organique et de l'évolution géographique du globe terrestre. J'ai entrepris mes recherches dans un esprit de synthèse, mais je n'ai pas négligé les méthodes analytiques. Il m'a semblé que celui-là seul pouvait mépriser l'analyse qui trouve son travail tout préparé par le labeur de ses devanciers et qui n'a plus qu'à moissonner là où d'autres ont semé.

J'ai choisi dès l'abord comme objet de mes études paléontologiques un ordre qui se prête particulièrement bien aux reconstitutions phylogéniques, celui des Ammonoïdés. Les restes de ces Mollusques sont relativement abondants, leur conservation est en général assez satisfaisante, leur caractères différentiels sont assez apparents pour faciliter les déterminations spécifiques. Les différents stades qu'ils traversent, au cours de leur évolution individuelle, ont laissé leur empreinte sur les tours successifs ; ces stades correspondant aux phases de l'évolution du groupe, on a pu dire que les Ammonites portaient inscrite sur leur coquille l'histoire de leurs ancêtres.

Aussi la filiation des Ammonoïdés est-elle aujourd'hui mieux connue que celle de n'importe quel autre groupe d'Invertébrés. Je crois avoir, par mes recherches, contribué dans une certaine mesure à ce résultat.

Les Ammonites, par leur variabilité même, constituent d'excellents fossiles caractéristiques ; leur répartition géographique très étendue tient à ce qu'ils habitaient le fond des mers et non le littoral. On s'est basé sur la localisation de certains genres dans des régions distinctes, pour reconstituer des provinces zoologiques ; j'ai montré qu'il fallait surtout attribuer ce fait à des différences dans la distribution bathymétrique. La répartition verticale des Ammonites dans des couches successives fournit le moyen le plus subtil pour distinguer dans la série des terrains des horizons précis, qu'il est possible de suivre d'un bassin dans un autre.

Je me suis toujours basé, dans mes travaux stratigraphiques relatifs aux terrains primaires et secondaires, sur la distribution des Ammonites et c'est par une analyse minutieuse des successions de faunes que j'ai pu établir des parallélismes rigoureux entre des régions souvent très éloignées l'une de l'autre.

Ce n'est qu'après avoir, en partant des données paléontologiques, précisé le synchronisme entre les divers *faciès* d'un même terrain, que l'on peut chercher à se rendre compte des lois qui règlent les variations dans la nature des sédiments et dans la composition des faunes.

J'ai cherché à apporter un peu plus d'ordre dans les données actuellement acquises sur la répartition des faciès. Partant des faits que j'avais observés dans les Alpes occidentales, j'ai défini d'une manière plus complète qu'on ne l'avait fait précédemment la notion du *géosynclinal*.

Quittant ensuite le terrain des observations personnelles, j'ai coordonné les documents stratigraphiques relatifs à toute la surface terrestre et j'ai pu ainsi présenter un essai de reconstitution des zones géosynclinales et des aires continentales. Étudiant la distribution des

terres et des mers aux diverses époques, avec le secours des excellentes esquisses paléogéographiques de M. de Lapparent, j'ai reconnu que la localisation des *transgressions* et des *régressions* marines dans certaines régions du Globe obéissait à une loi générale que j'ai formulée.

La connaissance précise de la succession des terrains dans une chaîne de montagnes et celle de leur âge exact est la base fondamentale de l'étude tectonique de cette chaîne. En commençant, il y a seize ans déjà, mes recherches sur la structure des Alpes occidentales, je n'ai pas perdu de vue cette condition essentielle. Les principaux résultats tectoniques auxquels j'ai été conduit ont pour point de départ des observations stratigraphiques.

J'ai fait des recherches de détail, basées sur le levé de la carte géologique, dans deux régions des Alpes françaises : dans les Basses et les Hautes-Alpes, et dans la Haute-Savoie. J'ai aussi publié les résultats d'observations tectoniques faites en Alsace, dans le Jura, dans le Tyrol méridional, dans les Alpes suisses, en Tunisie, au cours de mes voyages.

Mes travaux de détail, dans les régions des Alpes que j'ai plus particulièrement explorées, m'ont conduit à des conclusions générales, que j'ai ensuite cherché à appliquer aux autres régions de la chaîne, de manière à donner de l'ensemble un aperçu synthétique.

Enfin, suivant les voies tracées par l'illustre géologue viennois, M. Suess, j'ai entrepris de retracer l'histoire géologique des continents. Cet ordre de recherches est du domaine de la *géologie comparée*.

I. — PALÉONTOLOGIE

1. Notes sur quelques espèces d'Ammonites nouvelles ou peu connues du Lias supérieur. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., t. XII, p. 346-356, pl. XIII-XV. Paris, 1884.
2. Beiträge zu einer Monographie der Ammonitengattung Harpoceras. *Neues Jahrb. f. Miner., Geol., Pal.*, Beil.-Bd. III, p. 585-722, pl. XI-XII. Stuttgart, 1885.
3. Ueber die « Polymorphidae », eine neue Ammonitenfamilie aus dem Lias. *Ibid.*, 1887, II, p. 89-163, pl. IV-V. Stuttgart, 1887.
4. Beitrag zur Kenntniss der oberneocomen Ammonitenfauna der Puezalpe bei Corvara (Südtirol). *Beitr. z. Pal. Œsterreich-Ungarns*, t. VII, n° 3, 39 p., 6 pl. dont 4 doubles. Gr. in-4°. Vienne, 1888.
5. Note sur le péristome du Phylloceras mediterraneum. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., t. XVIII, p. 328-333, pl. IV. Paris, 1890.
6. Études sur les Ammonites des étages moyens du système jurassique. I. Genre Sonninia. II. Genre Witchellia. *Ibid.*, 3e sér., t. XX, p. 277-333, pl. VIII-X. Paris, 1893.
7. Les Ammonites du Permien et du Trias, remarques sur leur classification. *Ibid.*, 3e sér., t. XXII, p. 385-412. Paris, 1894.
8. Classification et phylogénie des Goniatites. *C. R. Ac. Sc.*, 14 juin 1897.
9. Étude sur les Goniatites. *Mém. Soc. Géol. Fr. Paléont.*, n° 18, 112 p., 2 tableaux, 1 pl. In-4°. Paris, 1898.
10. La classification des Ammonites de M. Alpheus Hyatt. Résumé et Remarques critiques. *Revue critique de Paléozool.*, 4e ann., p. 78-86. Paris, 1900.

Voir aussi les nos II, 6, 11, 13, 14 ; V, 3, 9 (1).

(1) Les chiffres placés entre parenthèses dans le texte indiquent, les chiffres romains, les chapitres de cette notice, les chiffres arabes, les numéros correspondants des listes bibliographiques.

AMMONOÏDÉS

AMMONITES DU LIAS ET DU BAJOCIEN

Revision des Harpocératinés et des Polymorphinés. — Lorsqu'en 1883 j'abordai l'étude des Ammonites, avec l'intention de publier une monographie des Harpocératidés, ce genre de travaux était peu en honneur en France. La mode était aux descriptions de faunes entreprises dans un but essentiellement stratigraphique, sans aucune préoccupation de rechercher la véritable filiation des êtres à travers les périodes géologiques. Les « Enchaînements du Monde animal » de M. Albert Gaudry n'avaient pas encore fait école parmi les paléontologistes s'occupant des Invertébrés. En choisissant comme objet de mes études les Ammonites que l'on réunissait sous le nom générique d'*Harpoceras*, mon intention était de réaliser pour un groupe liasique ce qui avait été fait par deux savants autrichiens, E. von Mojsisovics et Neumayr, pour les Ammonites du Trias, du Jurassique supérieur et du Crétacé. Je m'efforçai de prendre les travaux de ces deux auteurs comme modèle et d'arriver, par une analyse minutieuse, à distinguer les étapes successives de l'évolution dans des séries parallèles. A cet effet il fallait tout d'abord décrire un certain nombre d'espèces nouvelles et établir la synonymie rigoureuse des formes antérieurement décrites. C'est ainsi que, dans plusieurs mémoires publiés de 1884 à 1893 (I, 1; I, 2; I, 3; I, 6), je fis connaître diverses espèces nouvelles et que je fus conduit à établir plusieurs genres, démembrés de l'ancien genre *Harpoceras*, notamment *Dumortieria* et *Ochetoceras*, qui sont aujourd'hui généralement adoptés.

Séries génétiques et convergences. — Dans le Lias moyen et supérieur, ainsi que dans le Bajocien, on rencontre une multitude d'Ammonites carénées, à côtes falciformes ou simplement incurvées en avant, que Waagen avait réunies sous le nom d'*Harpoceras*. Une revision approfondie de ces formes me montra bientôt que ce genre était essentiellement hétérogène; les coupures proposées par Hyatt étaient en partie fondées, quoique pour la plupart très artificielles; il

en était de même de celles de Bayle. Si, au lieu de baser leur classification sur un caractère unique, tel que la carène, la forme des côtes, la cloison, on suit les formes d'un même groupe dans plusieurs horizons successifs, on les voit se modifier graduellement et l'on constate que les diverses séries génétiques évoluent parallèlement dans une même direction. On voit par exemple la carène s'accentuer, les tours devenir plus embrassants, les ornements s'atténuer. Les termes extrêmes de chaque série finissent par se ressembler beaucoup, de telle sorte que l'on pourrait être tenté de les réunir dans un même groupe, alors qu'ils appartiennent à des séries parallèles. Ils se ressemblent même bien davantage que leurs formes ancestrales, qui appartiennent souvent à des groupes assez éloignés les uns des autres. On a donné le nom de *convergence* à ce parallélisme dans l'évolution. Neumayr avait déjà cité des exemples de ce phénomène chez certaines Ammonites du Jurassique supérieur, mais il est peu de formes chez lesquelles les convergences soient aussi complètes que chez les Ammonites carénées confondues, avant mes recherches, sous le nom d'*Harpoceras*.

En effet, trois familles au moins évoluent parallèlement, donnant naissance à des formes extrêmes remarquablement semblables et qu'un œil exercé peut seul distinguer, grâce à certains détails de l'ornementation ou des cloisons. Dans les Ægocératidés, *Platypleuroceras* donne naissance à *Tropidoceras; Deroceras*, à *Hammatoceras*. Dans les Ariétidés, *Lillia* est la forme ancestrale d'*Haugia* ; *Amaltheus*, de *Sonninia* et de *Witchellia* (Buckman); *Echioceras*, de *Dumortieria*. Dans les Polymorphidés (I, 3), *Arnioceras* conduit à *Seguenziceras*, souche de *Grammoceras* et d'*Harpoceras* s. str. Or, les formes extrêmes d'*Hammatoceras* sont à peines distinctes de certaines *Haugia*; *Grammoceras striatulum* reproduit presque exactement la forme extérieure de *Tropidoceras Actæon*, que l'on retrouve encore réalisée dans *Dumortiera grammoceroides* et dans *Witchellia deltafalcata*. De même, *Witchellia complanata* offre la plus grande ressemblance avec *Harpoceras aalense*.

Par l'étude de ces convergences, j'ai été conduit à démontrer l'hétérogénéité, non seulement de l'ancien genre *Harpoceras*, mais encore celle du genre *Ludwigia* de Bayle, dans lequel on avait fait rentrer des Ammonites carénées à côtes fasciculées provenant de plusieurs souches bien distinctes. Ce genre *Ludwigia* est le type des coupures que M. Douvillé devait qualifier plus tard de « genres-fagots ».

Tout en m'élevant contre les genres trop étendus, presque toujours hétérogènes, j'ai saisi maintes fois l'occasion de protester contre des coupures trop restreintes, telles que celles proposées dans ces dernières années par Alpheus Hyatt (I, 10) et par M. S. S. Buckman, et qui, souvent, n'ont même pas la valeur de bonnes espèces.

Dimorphisme sexuel. — En 1892, Munier-Chalmas avait proposé l'hypothèse d'un dimorphisme sexuel chez les Ammonoïdés dans le but d'expliquer le parallélisme qui existe entre certaines formes de grande taille, à enroulement normal, avec péristome simple, envisagées comme les femelles, et d'autres formes de petite taille, à enroulement anormal et péristome muni d'apophyses jugales, considérées comme les mâles. Il avait pris la plupart de ses exemples dans les deux familles des Oppéliidés et des Cœlocératidés, où le dimorphisme sexuel paraît être particulièrement accentué. J'ai cité de nouveaux exemples, empruntés notamment aux Polymorphidés et aux Amalthéidés, où le dimorphisme ne se traduit guère que par des différences dans la taille des individus et dans la forme des cloisons. Parmi les Polymorphidés j'ai fait connaître les couples suivants :

Agassiceras Scipionianum — personatum
Arnioceras semicostatum — miserabile
Oxynoticeras oxynotum — accipitris.

Dans les Amalthéidés, j'ai reconnu l'existence du dimorphisme chez certaines espèces de *Sonninia* et de *Witchellia* (I, 6), en particulier chez :

Sonninia propinquans — sulcata
Witchellia Edouardiana — regrediens.

Il est à remarquer que la femelle (noms à gauche) et le mâle (noms à droite) d'une même espèce ont été décrits tout d'abord comme des espèces distinctes. Dans certains groupes même (1), les deux sexes ont été placés dans deux genres différents. Tous les zoologistes savent que le même fait s'est produit pour beaucoup d'animaux qui présentent un dimorphisme sexuel fortement accusé. Quelquefois même l'un des sexes est seul connu et il en est probablement de même pour certains genres d'Ammonites. Cependant il faudrait bien se garder d'envisager comme des mâles *toutes* les Ammonites dont le dernier tour est réfracté et dont les cloisons ont subi un arrêt dans le développement. Les mâles pygmées sont, comme chez certains Céphalopodes actuels, des formes régressives, mais la régression peut s'étendre aux deux sexes dans un genre entier. J'ai précisément montré que l'existence d'un premier lobe latéral bifide est un caractère qui se rencontre à la fois chez les mâles de certaines espèces, par exemple chez les mâles de *Witchellia Edouardiana*, et dans certains genres, tels que *Scaphites* et *Baculites*, qui, par leur enroulement partiel, se révèlent comme des types régressifs (I, 6).

De même, la présence d'apophyses jugales au péristome ne permet pas, à elle seule, d'affirmer que l'on se trouve en présence d'un mâle. C'est

(1) Voir les exemples cités par Munier-Chalmas.

ainsi que j'ai observé sur plusieurs individus de grande taille de *Phylloceras mediterraneum*, provenant du Bajocien supérieur de Chaudon (Basses-Alpes), des apophyses latérales très développées, sans que l'enroulement ou les cloisons indiquent que l'on ait affaire à une forme régressive (I, 5).

AMMONOÏDÉS DU CRÉTACÉ INFÉRIEUR

M. le professeur Benecke, de l'Université de Strasbourg, ayant bien voulu me confier l'étude d'une importante série de Céphalopodes provenant du Crétacé inférieur de l'Alpe Puez, près Corvara, dans le Tyrol méridional, je me suis d'abord rendu sur les lieux pour étudier les conditions de gisement de cette remarquable faune et pour compléter mes matériaux par des recherches personnelles. Les résultats géologiques de ce voyage seront résumés plus loin. L'étude des Céphalopodes du Barrémien a été publiée en 1889 dans un mémoire accompagné de 6 grandes planches représentant les espèces les plus intéressantes (I, 4).

Outre la description de quelques espèces nouvelles appartenant aux genres *Lytoceras*, *Desmoceras*, *Aspidoceras*, ce travail renferme une étude approfondie de certains Céphalopodes déroulés, si abondants dans le Crétacé inférieur. J'ai pu vérifier les résultats auxquels Neumayr avait été conduit par ses travaux sur ces formes régressives singulières et j'ai été amené à les compléter dans une certaine mesure.

J'ai constaté sur des matériaux de l'Alpe Puez que divers groupes de *Lytoceras* à enroulement normal peuvent donner naissance à des formes déroulées. Ainsi, il existe une variété de *Lytoceras phestus* qui ne se distingue du type que par son dernier tour détaché de la spire et recourbé en crosse, à la manière des *Ancyloceras*. Une autre forme présente une ornementation de *Lytoceras* du groupe des *Fimbriati*, tandis que ses tours non contigus en font une *Pictetia*.

J'ai attribué au genre *Crioceras*, à cause de leur ornementation identique, des formes recourbées sur elles-mêmes à la manière des *Hamites* et des *Hamulina*, n'attachant qu'une importance secondaire au mode d'enroulement, qui est essentiellement variable.

Mon attention s'est portée principalement sur le genre *Ancyloceras*, dont le type, *Ancyloceras Matheronianum*, ainsi que plusieurs autres espèces, se trouve dans le Barrémien de l'Alpe Puez. Ces formes, enroulées d'abord en spirale à tours contigus ou non, se déroulent ensuite en ligne droite et

se recourbent finalement en fer-à-cheval. Beaucoup d'espèces, dont l'ornementation est identique à celle des *Crioceras* les plus typiques, affectent également ce mode d'enroulement ; aussi Neumayr avait-il réuni les genres *Crioceras* et *Ancyloceras*. J'ai pensé que la vigoureuse ornementation qui apparaît sur la crosse de certaines espèces de grande taille était un caractère suffisant pour justifier la réunion de ces formes dans un même genre, distinct de *Crioceras*, pour lequel il convient de réserver le nom d'*Ancyloceras*. L'identité des caractères d'ornementation chez ces espèces, dans le jeune âge, démontre bien l'homogénéité et l'unité d'origine de toute la section, qui se trouve ainsi caractérisée par l'évolution individuelle de ses représentants : stade spiralé, à ornementation de *Crioceras*, rappelant celle du groupe ancestral d'*Hoplites hystrix* ; stade du déroulement, à ornementation accentuée; stade adulte ou gérontique, avec partie terminale en fer-à-cheval et ornementation vigoureuse. Je rappellerai que c'est Alpheus Hyatt qui, le premier, a montré tout le parti que l'on pouvait tirer de la méthode ontogénique pour la caractéristique des genres.

AMMONOIDÉS PALÉOZOÏQUES ET TRIASIQUES

La plupart des auteurs qui s'occupent de Céphalopodes fossiles sont d'accord sur la nécessité de baser la classification de ce groupe — comme d'ailleurs celle de tous les êtres vivants — sur la phylogénie, déduite à la fois de l'ontogénie et de la continuité des séries génétiques à travers les époques géologiques. Des essais nombreux ont été tentés dans ce sens ; j'ai eu l'occasion, dans plusieurs notes critiques (I, 7 ; I, 10 ; V, 3 ; V, 9), de discuter les classifications de Steinmann, d'E. von Mojsisovics, d'Hyatt et d'autres essais, qui s'étendent soit à l'ordre des Ammonoïdés dans sa totalité soit à certaines faunes seulement. Je n'ai pas encore publié la classification à laquelle mes études personnelles sur les Ammonites jurassiques et crétacées m'ont conduit, quoique je l'expose depuis quelques années dans mon enseignement ; mais en cherchant à l'établir sur des bases génétiques, j'ai été amené à m'occuper plus spécialement des Ammonites du Permien et du Trias (I, 7), puis des formes les plus anciennes de l'ordre, c'est-à-dire des Goniatites, et j'ai publié sur ce groupe un mémoire, assez étendu (I, 9), auquel l'Académie des Sciences a décerné en 1899 le prix Fontannes.

Études spéciales sur les goniatites carbonifères. — Mes « Études sur les Goniatites » comprennent deux parties distinctes, une partie générale, consacrée

à la classification et à la phylogénie, et une partie spéciale, consacrée à l'étude de quelques espèces carbonifères.

Parmi les matériaux abondants qui m'ont servi dans l'élaboration de ce mémoire, et qui provenaient en grande partie de la collection de Verneuil (École Nationale des Mines), se trouvaient un grand nombre d'espèces carbonifères, déjà décrites par d'anciens auteurs, mais encore fort mal connues, particulièrement en ce qui concerne les stades de leur ontogénie et les variations individuelles que l'on observe chez quelques-unes d'entre elles. J'ai fait des recherches de détail sur les espèces suivantes :

Glyphioceras reticulatum Phil.
» *striolatum* Phil.
» *Beyrichianum* Kon.
» *calyx* Phil.
Pericyclus [*Münsteroceras*] *Oweni* Hall
Gastrioceras Listeri W. Mart.
Agathiceras Hildrethi Morton
Dimorphoceras Gilbertsoni Phil.
» *atratum* Goldf.
Nomismoceras vittigerum Phil.

L'étude de l'évolution individuelle de divers *Glyphioceras* m'a révélé l'existence, chez ces espèces, de stades jeunes auxquels la coquille présente des tours surbaissés et très peu embrassants, ornés de véritables côtes. Ce caractère étant plutôt exceptionnel chez les Goniatites et en particulier chez les formes dévoniennes, j'en ai conclu que nous ne connaissons pas encore les ancêtres directs des Glyphiocératidés.

Tandis que certaines espèces de Goniatites carbonifères se distinguent par leur grande fixité, il n'en n'est pas de même de plusieurs types qui se rencontrent dans les mêmes assises et qui présentent des variations tout à fait remarquables. Je me suis occupé tout particulièrement de celles du *Glyphioceras Beyrichianum*, dont j'ai eu à ma disposition un très grand nombre d'individus, provenant des ampélites de Chokier (Belgique), c'est-à-dire de la base du Carbonifère moyen. J'ai pu séparer sept variétés de cette espèce, se distinguant par les caractères de leur ornementation et par leur mode d'enroulement. Deux d'entre elles sont un peu aberrantes, les cinq autres constituent une série continue, dont les différents termes sont reliés entre eux par des formes intermédiaires, par des passages insensibles. De plus, chaque terme de la série traverse, au cours de son évolution individuelle, des stades auxquels, par la forme des tours et par l'ornementation, il rappelle les termes précédents.

La durée de chaque stade est très variable et il peut se faire que l'un ou

l'autre d'entre eux soit supprimé, par accélération de l'évolution individuelle.

Si les différents termes de la série se trouvaient dans des couches successives, les premiers apparaissant dans les couches inférieures, les suivants dans les couches moyennes, le terme ultime occupant le sommet de la succession, on n'hésitcrait pas à les considérer comme les *mutations* (1) d'un même type, l'ensemble constituant une série génétique (« Formenreihe ») dans le sens défini par Waagen. Mais, en réalité, toutes les variétés de *Glyphioceras Beyrichianum* sont synchroniques et se rencontrent dans les mêmes couches, voire même dans un même nodule calcaire. Elles semblent avoir vécu ensemble, et qui plus est, être issues d'une même ponte ; ce sont de simples *variations individuelles.* Les différents individus parcourent plus ou moins rapidement leur évolution, quelques-uns conservent jusque dans l'adulte les caractères de jeunesse, d'autres atteignent de bonne heure des caractères d'adulte, d'autres enfin présentent les signes d'une sénilité précoce.

Glyphioceras Beyrichianum est évidemment une espèce en voie de transformation. On en connaît d'autres exemples parmi les Ammonites, où les variations synchroniques sont relativement fréquentes. La notion de l'espèce est alors particulièrement difficile à préciser. Tandis que certains auteurs, comme Hyatt, Mojsisovics et Buckman, envisagent chacune des variations comme une espèce indépendante, d'autres, comme Quenstedt. réunissent tout le cycle des variations dans une même espèce collective. Je me suis depuis longtemps rangé à cette manière de voir (1, 3) et j'ai employé, comme le faisait Quenstedt, la nomenclature trinominale, écrivant *Polymorphites polymorphus mixtus, Amaltheus margaritatus coronatus, Glyphioceras Beyrichianum tenuistriatum*, etc.

Classification et phylogénie. — Lorsque je n'avais étudié que les Ammonites du Permien et du Trias, j'étais arrivé au résultat (I, 7) que tous les genres antéjurassiques pouvaient être envisagés comme dérivant de deux souches distinctes, auxquelles je donnais les noms de *phylum des Prolécanitidés* et de *phylum des Glyphiocératidés*, qui correspondaient à peu près aux deux grandes divisions des Ammonoïdés, les *Leiostraca* et les *Trachyostraca*, établies par E. von Mojsisovics.

En étendant mes investigations aux Ammonoïdés du Carbonifère et du Dévonien, je me rendis bientôt compte de l'impossibilité qu'il y avait à répartir les formes paléozoïques dans ces deux phylums et je reconnus la nécessite d'admettre un plus grand nombre de souches primitives, ayant donné naissance à une série de rameaux évoluant parallèlement.

(1) Le terme de mutation est employé ici dans le sens de modification dans le temps, que lui atribue Waagen et non dans celui de transformation brusque réalisant une nouvelle espèce, suivant la conception de Hugo de Vries.

J'ai entièrement laissé de côté, dans mon Mémoire, un phylum dont les représentants sont caractérisés par la position interne du siphon. Ce sont les Clyménies (1), que Fr. Frech fait dériver du genre *Gyroceras*, à tours non contigus, la forme la plus primitive des Ammonoïdés.

Dès le Dévonien inférieur, on rencontre deux genres, dont la cloison est encore très simple et que leurs tours internes rapprochent de *Gyroceras*. Ils diffèrent l'un de l'autre par la longueur de la dernière loge : chez *Anarcestes*, elle est très longue (1 tour à 1 tour 1/2); chez *Agoniatites*, elle est courte (1/2 à 2/3 de tour). J'ai envisagé ces deux genres comme les chefs de file de deux phylums, les *Anarcestidés* et les *Agoniatitidés*, et, comme j'attache une grande importance à la longueur de la dernière loge, surtout chez les formes primitives, je les ai considérés aussi comme les types de deux sous-ordres des Ammonoïdés, les Longidomes et les Brévidomes.

Dans chacun des deux phylums les formes initiales, à cloisons très simples, donnent naissance, dans le Dévonien même, par une complication graduelle des cloisons, à deux séries parallèles, l'une longidome, l'autre brévidome, dont les relations génétiques peuvent être indiquées de la façon suivante :

Anarcestes — *Chiloceras* { *Sporadoceras*
Prionoceras (*Haugiceras* Cossm.) }

Agoniatites — *Tornoceras* { *Meneceras*
Aganides }

Il existe, en outre, dans le phylum des Anarcestidés, des formes à cloisons plus découpées, telles que *Dimeroceras* et *Pharciceras*, dont on ne connaît pas d'équivalent morphologique dans le phylum des Agoniatitidés.

De plus, dans le Carbonifère inférieur, chacun des deux phylums donne naissance à un genre caractérisé par l'apparition d'une selle médiane divisant en deux branches le lobe externe : à *Goniatites* s. str., dans les Anarcestidés, à *Pronannites*, dans les Agoniatitidés.

D'autres Ammonoïdés du Carbonifère inférieur possèdent la même selle médiane. Ils sont longidomes, mais ne se rattachent directement à aucun terme de la série des Anarcestidés. Ce sont les genres *Glyphioceras* et *Pericyclus*, à ornementation très accentuée, au moins dans le jeune âge. Ils descendent peut-être d'*Anarcestes* par l'intermédiaire de genres qui nous sont encore inconnus. Comme ils apparaissent brusquement avec le début du Carbonifère, je les considère comme le point de départ d'un phylum spécial des Longidomes, le phylum des *Glyphiocératidés*.

A *Glyphioceras* même se rattache une série des plus intéressantes, puisqu'elle

(1) J'ai eu à m'occuper plus tard de ce groupe pour un travail dont il sera question dans la partie stratigraphique de cette Notice (II, 13).

conduit directement, par la multiplication graduelle des éléments de la cloison et par la division des lobes, aux *Arcestidés* du Permien et du Trias, c'est-à-dire à de véritables Ammonites. La filiation est la suivante : *Glyphioceras — Gastrioceras — Paralegoceras* (1) — *Agathiceras — Adrianites — Stacheoceras.* Je l'ai établie en 1897 (I, 8), elle a été vérifiée depuis par Fr. Frech et par Perrin Smith.

Dans les Brévidomes, *Aganides* semble donner naissance, par des modifications analogues, à une série parallèle, comprenant les genres *Dimorphoceras, Thalassoceras, Ussuria* et probablement *Proptychites, Popanoceras* et *Megaphyllites* du Trias.

Mais il existe encore dans le Dévonien deux autres phylums, qui apparaissent tout aussi brusquement que les Glyphiocératidés au Carbonifère, sans que nous sachions rien sur leur origine, ce sont les *Géphyrocératidés* et les *Prolécanitidés*.

Les Géphyrocératidés, les anciens *Primordiales*, caractérisés par leur selle siphonale très développée, débutent au Dévonien supérieur par les genres *Gephyroceras, Manticoceras* et *Timanites*, qui sont reliés entre eux par des passages insensibles. A ce phylum se rattachent également, comme j'ai été le premier à le démontrer, les genres *Nomismoceras* et *Beloceras*, qui donnent naissance aux importantes familles triasiques des *Lécanitidés* et des *Pinacocératidés*.

Le phylum des *Prolécanitidés* (aussi appelés Ibergicératidés) a fait l'objet de belles recherches de la part de Karpinsky. Je n'ai rien ajouté aux résultats obtenus par cet auteur, mais je crois avoir établi définitivement que, contrairement à ce que pensaient Hyatt, Gemmellaro, Steinmann et d'autres, les Arcestidés, les Phyllocératidés et les Lécanitidés n'ont rien de commun avec ce phylum.

La classification des Ammonoïdés paléozoïques en cinq phylums que j'ai proposée est considérée par Perrin Smith comme la plus satisfaisante qu'il y ait actuellement. Avec de légères divergences, elle correspond aux résultats phylogéniques auxquels sont arrivés les auteurs qui, depuis la publication de mon mémoire, ont étudié ces Céphalopodes. Si l'on cherche à l'appliquer aux formes triasiques, on constate que seul le phylum des Anarcestidés n'a pas de descendants directs parmi les formes postdévoniennes.

Aux Agoniatitidés se rattachent probablement, outre les genres triasiques indiqués plus haut, les *Dinaritidés*. Les Glyphiocératidés ont certainement donné naissance aux familles triasiques des *Arcestidés*, des *Celtitidés*, des *Stéphanitidés*, des *Haloritidés*, des *Tropitidés* et peut être également aux *Ptychitidés*. Des Géphyrocératidés descendent les *Lécanitidés*, les *Phyllocé-*

(1) Ici Perrin Smith a intercalé récemment un nouveau terme, le genre *Schistoceras*, que j'avais confondu dans le genre *Agathiceras*.

ratidés et les *Pinacocératidés*. Les *Cératitidés* paraissent se relier directement aux Lécanitidés, comme je l'indiquais dès 1894 (I, 7). Les Prolécanitidés, enfin, qui atteignent leur principal développement au Permien, n'ont que quelques rares représentants triasiques.

J'ajouterai que la presque totalité des familles du Trias s'éteignent vers la fin de cette période, sans laisser aucun descendant jurassique. Seuls les Phyllocératidés persistent, en donnant naissance, par l'intermédiaire de *Monophyllites* et de *Psiloceras*, à plusieurs rameaux, qui s'épanouissent dès le Lias.

Morphologie. — Il était intéressant de suivre l'évolution de certains caractères de la coquille dans les cinq phylums de Goniatites. Je suis arrivé par cette étude comparative à montrer que, dans chacun d'eux, les modifications progressives suivent une marche parallèle plus ou moins ralentie, plus ou moins accélérée suivant les groupes. De plus, l'évolution d'un caractère déterminé n'a pas toujours lieu avec la même vitesse que celle de tel autre caractère. Ainsi un type qui peut être considéré comme ayant atteint un degré d'évolution très avancé, si l'on envisage son mode d'enroulement, pourra être très arriéré en ce qui concerne le développement de sa ligne suturale et vice-versa.

J'ai reconnu que les formes primitives de chaque phylum possèdent un mode d'enroulement qui leur est propre; néanmoins les séries progressives tendent vers un type à tours très embrassants, à section ovoïde ou même lancéolée, qui se retrouve dans chaque phylum, tandis que d'autres formes conservent le mode d'enroulement primitif.

L'ornementation des types primitifs consiste en fines stries d'accroissement, les côtes n'apparaissent que plus tard, tandis que les formes séniles présentent dans l'adulte des tours entièrement lisses. Il y a dans chacun des cinq phylums des types « leiostracés » et des types « trachyostracés », les caractères d'ornementation ne doivent donc intervenir dans la classification que d'une manière tout-à-fait secondaire.

Dans quatre phylums tout au moins, les stries d'accroissement, les côtes et les varices internes décrivent, chez les formes primitives, un sinus ventral ouvert en avant; dans chacun d'eux ce sinus s'atténue graduellement, de sorte que les ornements tendent à passer normalement sur la partie externe; dans les formes les plus évoluées, enfin, les stries et les côtes décrivent un sinus ouvert en arrière, de sorte que, au lieu d'une échancrure ventrale, on rencontre maintenant une apophyse ventrale, comme celle que possèdent beaucoup d'Ammonites mésozoïques.

L'évolution individuelle de *Glyphioceras Beyrichianum* suit une marche inverse. Cette espèce est pourvue dans le jeune âge d'une apophyse ventrale, qui

fait place dans l'adulte à une échancrure. On a donc affaire ici à une forme manifestement régressive.

Je n'insisterai pas sur l'évolution du goulot sipbonal, ni sur la position du siphon, ces faits étant bien connus.

En ce qui concerne la cloison, il convient d'envisager séparément ses diverses parties.

Le lobe externe est simple cbez les types primitifs ; plus tard apparaît, dans plusieurs séries parallèles, une selle siphonale, qui divise ce lobe en deux branches. J'ai pu constater que le développement de cette selle est toujours précédé par un stade auquel le lobe externe se termine par deux ou trois pointes égales. Les mêmes stades se succèdent également suivant le même ordre, dans l'évolution individuelle.

La multiplication des éléments latéraux de la cloison a lieu, soit par division de la première selle latérale en deux selles secondaires par l'apparition d'un lobe adventif ; soit par une division analogue de la seconde selle ; soit encore par la division simultanée de chacune des selles. Les selles secondaires ainsi formées s'égalisent graduellement, de même que les lobes.

La cloison est alors composée de trois ou quatre lobes, ou même d'un plus grand nombre. La même évolution se rencontre dans les différents phylums, ainsi *Pharciceras*, *Agathiceras*, *Beloceras* et *Prolecanites* sont des « équivalents morphologiques », qui appartiennent aux quatre pbylums des Anarcestidés, des Glyphiocératidés, des Géphyrocératidés et des Prolécanitidés. Autrefois on les réunissait dans une même famille.

Lorsque les selles sont largement ouvertes à la base, la cloison est dite « euryphyllienne » ; lorsque leur base est étranglée, elle est dite « sténophyllienne » (I, 7). Les éléments internes de la cloison suivent un développement analogue à celui des éléments externes.

On savait depuis longtemps que les Ammonoïdés à cloisons simples, c'est-à-dire à selles et à lobes non découpés, connus généralement sous le nom de Goniatites, se transforment graduellement en formes à cloisons « persillées », c'est-à-dire à selles échancrées et à lobes plusieurs fois divisés, formes désignées d'ordinaire sous le nom d'Ammonites. Les pbases de cette transformation étaient encore mal connues, je me suis attaché à les élucider.

En ce qui concerne les lobes, j'ai montré que les formes primitives à lobes simples, à pointe unique (type « monacanthien »), pouvaient se transformer en types plus complexes par trois procédés différents.

Dans un premier cas, un lobe secondaire de faibles dimensions vient s'embrancher latéralement sur le lobe primaire simple ; les deux brancbes ne tardent pas à s'égaliser et le lobe devient ainsi bifide. C'est le type « dicranidien » (*Dimorphoceras*, Medlicottinés).

Dans un second cas, le lobe simple est d'abord acuminé, puis on voit naître de chaque côté de la pointe un lobule, après quoi les trois pointes prennent une disposition en trident. C'est le type « triænidien » (Arcestidés, Tropitidés, *Monophyllites*).

Dans le troisième cas, le lobe simple s'arrondit et l'on voit se former à son extrémité toute une série de petites indentations égales entre elles. C'est le type « prionidien », caractéristique des Cératites *sensu lato (Prosphingites*, Dinaritidés, Lécanitidés, Cératitidés, *Daraelites)*.

Ces divers types de lobes peuvent se rencontrer dans chacun des phylums d'Ammonoïdés paléozoïques, quelquefois ils peuvent même coexister sur la cloison d'une même espèce, par exemple dans le genre *Prodromites* P. Smith ; ils peuvent donc tout au plus servir à caractériser une famille. Les découpures tendent ultérieurement à s'étendre soit à la base des selles (type « mégaphyllien », soit à toute leur périphérie (type « brachyphyllien » de Mojsisovics). Beaucoup d'Ammonoïdés paléozoïques s'arrêtent à un stade encore assez primitif, réalisant dans toute sa netteté un des types de cloison que je viens de définir; mais, lorsque la ligne de suture évolue davantage, par suite d'une nouvelle division de ses éléments, on retrouve, au cours du développement individuel de ces formes plus évoluées, un stade qui correspond exactement à l'un des trois types dicranidien. triænidien ou prionidien.

Il résulte de ce qui précède que ni l'ornementation, ni la forme du péristome, ni la direction des goulots siphonaux, ni la position du siphon, ni la forme du lobe externe, ni celle de la partie interne de la cloison, ni le nombre des éléments de la ligne de suture, ni la plus ou moins grande largeur des selles, ni le mode de division des lobes et des selles ne peuvent servir à caractériser les coupures de premier ordre à établir dans les Ammonoïdés. *Ces caractères indiquent des stades, qui peuvent se retrouver dans chaque phylum*. En revanche, le mode d'enroulement des premiers tours de spire constitue, chez les formes primitives tout au moins, un excellent criterium, permettant de classer les Ammonoïdés en groupes naturels. Chacun des phylums que j'ai distingués est caractérisé au début par un mode d'enroulement propre et par une longueur déterminée de la loge d'habitation. Ce n'est que plus tard que ces caractères s'oblitèrent, des formes presque identiques venant à prendre naissance, par suite de convergences, synchroniques ou non, dans les diverses séries parallèles.

II. — STRATIGRAPHIE

1. Note préliminaire sur les dépôts jurassiques du Nord de l'Alsace. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., t. XIV, p. 47-63. Paris, 1886.
2. Die geologischen Verhältnisse der Neocomablagerungen der Puezalpe bei Corvara in Südtirol. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst.*, t. XXXVII, p. 245-280. Vienne, 1887.
3. Sur la géologie des chaînes subalpines comprises entre Gap et Digne. *C. R. Ac. Sc.*, 18 mars 1889.
4. Lias, bajocien et bathonien dans les chaînes subalpines entre Digne et Gap. *Ibid.*, 1er avril 1889.
5. Observations à la suite de deux notes de M. Toucas. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., t. XVIII, p. 374 et 630. Paris, 1890.
6. Les chaînes subalpines entre Gap et Digne. Contribution à l'histoire géologique des Alpes françaises. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. V, no 21, 197 p., 4 pl. Thèse de doctorat. Paris, 1891.
7. Sur l'étage aalénien. *C. R. séances Soc. Géol. Fr.*, p. CLXXIV-CLXXVI, 5 déc. 1892.
8. Le Permien de Saint-Girons (Ariège). *C. R. somm. séances Congr. géol. intern. Zurich*, 30 août 1894.
9. Portlandien, Tithonique et Volgien. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., t. XXVI, p. 197-228. Paris, 1898.
10. Sur le Cénomanien de Diego-Suarez (Madagascar). *Ibid.*, 3e sér., t. XXVII, p. 396-397. Paris, 1899.
11. Les géosynclinaux et les aires continentales, contribution à l'étude des transgressions et des régressions marines. *Ibid.*, 3e sér., t. XXVIII, p. 617-711. Paris, 1900.
12. Sur l'âge des couches à Nummulites contortus et Cerithium Diaboli. *Ibid.*, 4e sér., t. II, p. 483-498. Paris, 1902.

13. Sur deux horizons à Céphalopodes du Dévonien supérieur dans le Sahara oranais. *C. R. Ac Sc.*, 6 juillet 1903.
14. Sur quelques nouveaux gisements de couches à Clyménies dans les environs de Beni-Abbès (Sabara oranais) *(en preparation)*.
Voir aussi : I, 4, 6, 9 : III, 8, 14, 24, 28, 37 ; V. 5, 6, 8.

TRAVAUX ANALYTIQUES

Système dévonien.

Dévonien supérieur du Sahara oranais. — M. Émile Gautier a recueilli, au cours de deux voyages dans l'Extrême-Sud-Oranais, en 1902 et 1903, dans le Gourara et dans l'oued Saoura, des échantillons, dont il a bien voulu me confier l'étude et qui ne laissent aucun doute sur la présence du Dévonien supérieur dans ces régions (11, 13). J'ai reçu aussi deux envois successifs de M. le lieutenant Bavière, du poste de Beni-Abbès, qui sont venus compléter dans une large mesure les documents que m'avait fournis M. Gautier.

Les Céphalopodes prédominent de beaucoup dans les matériaux que j'ai eus entre les mains. Leur étude m'a permis d'établir qu'il existe dans le Sahara oranais au moins trois horizons successifs du Dévonien supérieur et que leurs faunes présentent une composition identique à celle des couches de même âge qui sont connues depuis longtemps dans les régions classiques de l'Allemagne centrale. Ces horizons sont les suivants :

1° Zone à *Gephyroceras intumescens*, représentée à Fgagira, dans le Gourara, par des plaquettes calcaires renfermant de très beaux exemplaires de *Bactrites carinatus*, des *Orthoceras* et des Goniatites plus rares, mais très caractéristiques (*Gephyroceras intumescens, Tornoceras simplex*), établissant d'une manière certaine la présence du Frasnien supérieur dans le Sahara oranais.

2° Zone à *Clymenia annulata*. Le Dévonien des environs de Beni-Abbès, dans l'oued Saoura, est particulièrement riche en Céphalopodes à l'état de moules internes calcaires, colorés en rouge par du sesquioxyde de fer anhydre, sur lesquels les détails de l'ornementation interne et les cloisons sont très nettement visibles et permettent en général une détermination précise, dans les cas, bien entendu, où il ne s'agit pas d'espèces nouvelles. Les Goniatites sont représentées par trois espèces assez communes : *Chiloceras subpartitum, Sporadoceras subbilobatum, Aganides sulcatus*. Les Clyménies sont très abondantes,

j'ai compté onze espèces différentes, dont quelques-unes sont nouvelles. Elles appartiennent, à une exception près (*Oxyclymenia striata*), au genre *Clymenia* s. str. L'espèce la plus commune est *Clymenia annulata*, qui caractérise le niveau inférieur du calcaire à Clyménies de la Westphalie et du Nassau. Le gisement de Beni-Abbès a fourni en outre de nombreux *Orthoceras*, un Trilohite (*Phacops cæcus*) et quelques Lamellibranches (*Buchiola retrostriata*, *Posidonomya venusta*).

Le même horizon existe à Charouin, dans le Gourara, représenté par un marbre griotte, qui contient *Clymenia lævigata* et des Goniatites indéterminahles.

3° Zone à *Gonioclymenia speciosa*. Dans ma note du 6 juillet 1903, je constatais l'absence, parmi les matériaux reçus à cette date, des *Gonioclymenia*, c'est-à-dire des formes les plus caractéristiques de la zone supérieure des calcaires à Clyménies de la Westphalie et du Nassau. Depuis, j'ai reçu un nouvel envoi de M. le lieutenant Bavière, qui renferme précisément plusieurs échantillons d'une grande espèce de *Gonioclymenia*, probablement nouvelle, mais voisine de *G. plana* Mstr. Ces fragments proviennent de Bou Maoud, point d'eau situé à plus de 100 kilomètres au S.W. de Beni-Abhès. De la même localité proviennent également *Oxyclymenia striata* Mstr., *Clymenia* sp., *Orthoceras* sp., et un grand Lamellihranche, que je rapporte au genre *Posidonella*.

Le point d'eau de Drissa, situé environ à 80 kilomètres au S.W de Beni-Abbès, a fourni à M. Bavière une helle série de fossiles, qui comprend, outre quelques formes déjà connues de Beni Ahhès, *Phacops granulatus* Mstr. et *Sporadoceras cucullatum* Buch, espèce des plus caractéristiques de la zone des *Gonioclymenia* dans l'Europe occidentale.

La zone la plus élevée du Dévonien supérieur existe donc en deux points différents dans la Hamada qui s'étend au S.W. de Beni-Abhès.

L'Extrême-Sud Oranais peut être dès à présent considéré comme la région du monde où les niveaux les plus élevés du Dévonien ont fourni les plus riches séries de fossiles.

Système carbonifère

Division générale en zones. — La division des terrains sédimentaires marins en zones caractérisées chacune par une ou plusieurs espèces d'Ammonoïdés a été appliquée d'ahord au système jurassique par Oppel. Plus tard une classification basée sur le même principe fut proposée par E. von Mojsisovics pour le Trias, par Kilian et de Grossouvre pour le Crétacé, par Frech pour le Dévonien. J'ai pensé que, puisque les Ammonoïdés ne

sont pas rares dans certaines formations marines du Carbonifère, il y avait lieu d'employer la même méthode pour établir dans ce système des subdivisions d'un caractère universel. Tandis que d'autres auteurs s'étaient basés sur les Brachiopodes, sur les Lamellibranches, sur les Foraminifères pour caractériser les zones paléontologiques du Carbonifère, j'ai proposé en 1898 de diviser l'ensemble du système en cinq zones (1, 9), à chacune desquelles j'ai donné le nom d'une ou de deux espèces de Goniatites. Ces zones, dont les deux premières constituent le Dinantien (Mississipien des auteurs américains), les deux suivantes le Moscovien et la cinquième l'Ouralien, peuvent être définies comme suit :

1° Zone à *Pericyclus princeps* et *Aganides rotatorius*, correspondant à la faune de Tournai, en Belgique, aux couches d'Erdbach, dans le Nassau, à la partie inférieure du Calcaire carbonifère d'Irlande et au Kinderhook-group de l'Indiana. Genres caractéristiques : *Pericyclus*, *Münsteroceras*. Maximum d'*Aganides*. Absence de *Pronorites*, *Glphyioceras*, *Goniatites*.

2° Zone à *Goniatites striatus*, représentée par le niveau de Visé, en Belgique, le Culm de l'Allemagne centrale, le Scar-limestone et les couches de Yoredale, en Angleterre, le groupe de Saint-Louis, aux États-Unis. Disparition des genres *Münsteroceras* et *Pericyclus*. Apparition de *Pronorites*, *Glyphioceras*, *Goniatites*. Maximum de *Dimorphoceras*, *Nomismoceras*, *Prolecanites*.

3° Zone à *Glyphioceras striolatum* de Chokier, en Belgique, de la Haute-Silésie, de l'Oural, de Sumatra. Faune encore mal connue, caractérisée jusqu'ici par un petit nombre d'espèces.

4° Zone à *Gastrioceras Listeri*, représentée en Angleterre par le Gannister coal, et par des couches renfermant les mêmes espèces, peu nombreuses d'ailleurs, en Westphalie et aux États-Unis.

5° Zone à *Gastrioceras Marianum*, constatée dans l'Oural et aux États-Unis (« Upper Coal Measures »). Apparition d'*Agathiceras* (*Schistoceras*).

La classification que j'ai proposée a été adoptée sans changements et appliquée au Carbonifère des États-Unis par M. James Perrin Smith (1), professeur à l'Université Leland Stanford J[r] (Californie).

M. de Lapparent m'a fait également l'honneur de la reproduire dans la quatrième édition de son classique *Traité de Géologie*.

Houiller de Barles. — Garnier avait signalé dans la cluse du Bès, située en amont de Barles (Basses-Alpes), des couches à anthracite recouvertes par le Trias inférieur. Il les attribuait avec doute au terrain houiller.

(1) The Carboniferous Ammonoids of America. *Monographs of the U. S. Geological Survey*, vol. XLII. Washington, 1903.

Ayant recueilli de nombreuses empreintes végétales, lors d'une première visite à la « mine de charbon », en 1888, j'ai pu confirmer cette assimilation (II, 3). Mes déterminations assignent au gisement un âge carbonifère supérieur; le Houiller de Barles occupe le même niveau que celui de la Mure (Isère), situé comme lui dans la « première zone alpine » de Ch. Lory.

Plus tard (III), la construction d'une route m'a permis de constater avec certitude une légère discordance angulaire entre le Houiller et le Trias inférieur.

Système permien

Permien inférieur de Saint-Girons. — M. Caralp a découvert en 1893, à Saint-Girons (Ariège), un gisement de fossiles marins permiens, dans des schistes noirs concordants avec le Houiller et supportant en discordance les conglomérats et les grès rouges du Permien moyen. M. Caralp ayant bien voulu me communiquer une partie de ses échantillons, j'ai pu reconnaître la présence des genres *Daraelites*, *Gastrioceras* et *Paraceltites*, qui démontrent le synchronisme des schistes de Saint-Girons avec les calcaires à Fusulines de Sicile, dont M. Gemmellaro a fait connaître la faune dans un mémoire magistral et que l'on tend aujourd'hui à classer dans le Permien inférieur. J'ai fait sur ces déterminations une communication au Congrès géologique international de Zurich, en 1894 (II, 8).

Tout récemment M. Caralp m'a confié pour l'étude la totalité de ses matériaux. Il résulte d'un premier examen que les trois genres de Céphalopodes que j'avais signalés sont précisément les formes les plus communes dans le Permien inférieur de l'Ariège. J'ai reconnu, en outre : parmi les Céphalopodes, les genres *Pronorites* et *Orthoceras*; parmi les Gastropodes, le genre *Euomphalus;* parmi les Lamellibranches, le genre *Leiopteria;* parmi les Trilobites, le genre *Griffithides*. L'état de conservation des échantillons rend les déterminations spécifiques presque impossibles.

Système triasique

Trias du Nord de l'Alsace. — Dès mon enfance j'ai recueilli des fossiles dans les localités classiques du Trias des environs de Niederbronn (Alsace). Plus tard, j'ai exploré systématiquement les terrains triasiques des environs de cette ville. Je n'ai publié que les principaux résultats de ce travail (III, 1); je citerai les suivants:

Séparation des divers termes du Grès Vosgien;

Distinction, dans le Muschelkalk inférieur, d'une partie inférieure gréseuse et d'une partie supérieure calcaire ou dolomitique;

Découverte, au sommet du Muschelkalk inférieur, de l'horizon à *Myophoria orbicularis;*

Détermination du niveau occupé par le Décapode macroure *Pemphix Sueuri* dans les couches à *Encrinus liliiformis* d'Oberbronn;

Attribution au Keuper moyen des grès de Griesbach, envisagés par Daubrée comme infraliasiques.

Trias des Alpes occidentales. — J'ai visité en 1886 la célèbre région des Dolomies, dans le Tyrol méridional; puis, plus tard, un certain nombre de points de l'Engadine où le Trias est bien représenté; enfin, cette année même, j'ai fait une série de courses dans le Salzkammergut. J'ai ainsi appris à connaître quelques-uns des types les plus importants du Trias des Alpes orientales. J'ai pu m'assurer, par cette étude comparative, que seul, le Trias de l'Engadine présente quelques affinités avec nos formations du Dauphiné méridional et de la Haute-Provence.

Dans les seize années que j'ai consacrées à l'exploration des Alpes françaises, j'ai eu naturellement maintes fois à m'occuper des terrains triasiques, quoiqu'ils ne constituassent pas l'objet principal de mes recherches.

Dans la région entre Gap et Digne (II, 6), le Trias inférieur n'était connu qu'en un nombre de points fort restreint ; j'ai signalé sa présence dans plusieurs localités où elle n'était pas soupçonnée (les Touisses, Rochebrune, Saint-Etienne-d'Avançon, Entraix, etc.) et dans des conditions tectoniques insolites sur lesquelles je reviendrai plus loin. Le faciès est celui des Quartzites, si bien développé dans le Briançonnais. J'ai également reconnu de nombreux affleurements du Muschelkalk. Leur principal intérêt réside dans le fait que les calcaires ont, en beaucoup d'endroits, été ultérieurement transformés en gypse par un phénomène dont M. Marcel Bertrand a fourni une intéressante interprétation. J'ai donné de nombreux exemples de cette transformation (le Laus, Remollon, Turriers, etc.).

Les gypses triasiques et les cargneules qui les accompagnent presque toujours se rencontrent souvent, par suite de dislocations intenses, dans une situation telle que l'on pourrait croire qu'ils sont normalement intercalés dans les terrains jurassiques. J'étais tout d'abord, comme mes prédécesseurs, tombé dans cette erreur (II, 6), mais n'ai pas tardé à la rectifier moi-même (III, 37).

Le Trias supérieur est quelquefois représenté dans les Alpes françaises par des argilolithes rouges et vertes, localement transformées en ardoises par les pressions qu'elles ont subies lors des mouvements orogéniques. Elles avaient été signalées par Garnier à Barles, mais placées par cet auteur

dans le Trias moyen. J'ai déterminé leur véritable position et j'ai retrouvé ce faciès particulier — inconnu dans le Briançonnais, en Maurienne et en Tarantaise — à Terres-Plaines, près Jausiers, au Morgon (II, 6), à Saint-Apollinaire (III, 37), ainsi que dans les massifs exotiques des Annes et de Sulens (III, 14). Partout ces argilolithes sont recouvertes directement et en concordance parfaite par les couches à *Avicula contorta* du Rhétien. Leur attribution au Trias supérieur ne peut donc faire aucun doute.

Classification du Trias. — La classification du Trias a donné lieu, il y a un certain nombre d'années, à de très vives polémiques, dont j'ai fait connaître les phases au public français, sans me préoccuper bien entendu de ce qu'elles avaient de personnel (V, 5; V, 6). Je ne me suis pas contenté d'exposer les faits d'une manière objective, j'ai pris résolument parti pour les auteurs que préoccupait le problème du parallélisme entre les diverses subdivisions du Trias alpin et celles du Trias germanique. J'étais convaincu que les documents paléontologiques sont suffisants pour permettre de suivre d'une province à l'autre certains horizons, qui fournissent des repères précieux dans les essais de synchronisation.

Les auteurs qui rejettent comme impossible toute tentative de paralléliser les séries alpine et germanique du Trias concluent également qu'il est impossible d'appliquer au Trias alpin la division classique en trois groupes, empruntée au Trias germanique. Je me suis élevé contre cette manière de voir et j'ai montré que chacune des trois subdivisions possède, si l'on envisage les formations marines à Céphalopodes, des caractères paléontologiques propres, dus à de brusques changements de faune, se produisant dans la province alpine à l'endroit précis où l'on place, dans la province germanique, les limites stratigraphiques de premier ordre (I, 9).

La première immigration de types nouveaux *cryptogènes* a lieu au début même du Trias. Les éléments introduits dans la faune, qui faisaient défaut dans celles des mers permiennes dont les dépôts sont accessibles à nos investigations, sont les suivants: *Acrochordiceras* (descendant de *Pericyclus* du Carbonifère), *Prosphingites* (descendant probable de *Münsteroceras*), *Sibirites*, Dinaritidés. Les Lécanitidés ont, par contre, leurs racines dans le Permien.

Une seconde invasion a lieu au début du Trias moyen. On voit apparaître brusquement les genres *Proteites*, *Ptychites*, *Megaphyllites*, *Sturia*, *Cladiscites*, *Monophyllites*, *Pinacoceras*, etc., ainsi que la famille des Arcestidés, qui avait déjà des représentants au Permien, mais qui est inconnue au Trias inférieur.

Une troisième invasion s'est produite dès la base du Trias supérieur,

avec la zone à *Trachyceras aonoides*. On voit apparaître le genre *Phylloceras* et les familles des Orthopleuritidés et des Tropitidés.

Il me paraît actuellement prématuré de vouloir établir des étages dans le Trias inférieur. Le Trias moyen peut être divisé en Virglorien et Ladinien, mais ces deux étages sont reliés entre eux par de nombreux genres communs. Leur ensemble correspond bien au Muschelkalk. Le Trias supérieur comprend le Carnien et le Norien, ce dernier étage étant caractérisé par la présence des Haloritidés.

Système jurassique

Jurassique du nord de l'Alsace. — Ayant passé, depuis mon enfance et jusqu'en 1887, une grande partie de mes vacances à Niederbronn (Alsace), je me suis trouvé amené très jeune à explorer les localités classiques du Lias des environs de cette ville. Je puis même dire que ce sont ces courses qui me donnèrent le goût des études géologiques. Je réunis une collection personnelle, qui se trouve actuellement incorporée aux collections du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Paris; j'eus ensuite l'occasion d'étudier et de classer une partie des collections du Service de la Carte géologique d'Alsace-Lorraine et de l'Université de Strasbourg. Le résultat de mes observations sur le terrain et de mes déterminations dans le laboratoire fut une « Note préliminaire sur les dépôts jurassiques du Nord de l'Alsace », que je publiai en 1885, dans le Bulletin de la Société Géologique de France (I, 1).

Sans insister sur les parties de cette note qui ont trait au Lias inférieur et moyen et au Bathonien, puisqu'elles n'offrent qu'un intérêt local, je ne parlerai ici que des paragraphes consacrés au Lias supérieur et au Bajocien, car les résultats que j'y exposais devaient me conduire plus tard à des conclusions générales.

Les localités de Gundershoffen et d'Uhrwiller sont célèbres par la richesse des faunes du Lias supérieur qu'elles ont fourni aux collectionneurs. Il importait de dresser des listes aussi complètes que possible de ces faunes, en les basant sur des déterminations précises, effectuées au moyen des ressources actuelles de la paléontologie. J'ai donné ainsi des listes des organismes fossiles recueillis dans les trois niveaux suivants :

1° Zone à *Lytoceras jurense* ;
2° Zone à *Dumortieria pseudoradiosa* ;
3° Zone à *Harpoceras opalinum*.

Sans négliger les autres Invertébrés, je me suis surtout attaché à la détermination des Céphalopodes de ces trois horizons et j'ai pu ainsi établir

que chacun d'eux renferme des genres et des espèces propres. L'horizon supérieur, connu sous le nom de « couches à *Trigonia navis* », ne m'a pas fourni moins de 98 espèces. C'est encore actuellement la liste la plus complète qui ait été donnée de sa faune.

Je n'ai apporté que peu de renseignements nouveaux sur la zone à *Harpoceras Murchisonæ*, qui fait suite à la précédente et par laquelle les géologues français font d'ordinaire débuter le Bajocien. Par contre, j'ai été le premier à faire connaître en Alsace la zone suivante, à *Harpoceras concavum*, dont j'ai découvert un gisement assez riche, renfermant notamment les espèces suivantes : *Belemnites ellipticus*, *Bel. Mœschi*, *Bel. insculptus*, *Harpoceras cornu*, *Gryphæa calceola*, etc.. C'est un niveau dont je devais plus tard signaler l'existence dans diverses régions de l'Europe, où sa présence avait passé inaperçue.

La zone à *Harpoceras concavum* est surmontée, dans le Nord de l'Alsace, par des calcaires bleus, qui ont fourni plusieurs espèces de *Sonninia* et de *Witchellia* non décrites. Puis viennent des calcaires bruns oolithiques, dont j'ai également étudié la faune et qui représentent les zones supérieures du Bajocien.

Jurassique des Basses et Hautes-Alpes. — Lorsque, sur les conseils de mon collaborateur et ami M. Kilian, j'abordai en 1888 l'étude des Chaînes subalpines entre Gap et Digne, qui devait me servir de thèse de doctorat (II, 6), les terrains jurassiques des environs immédiats de Digne étaient seuls connus, grâce aux beaux travaux de Garnier et de M. Charles Vélain. Il importait donc d'étendre au nord les observations de ces auteurs ; d'autre part, l'étude paléontologique détaillée du Bajocien et du Bathonien de la région promettait de donner des résultats intéressants.

La réalisation de la première partie de ma tâche rencontrait de singulières difficultés, par suite de l'extraordinaire uniformité des faciès et surtout en raison de la rareté des restes organiques et de leur mauvais état de conservation. J'ai pu cependant signaler, en particulier dans les environs de Gap, la présence d'un certain nombre d'horizons fossilifères précédemment inconnus, dont l'étude paléontologique devait me permettre d'augmenter, dans une assez large mesure, l'étendue de nos connaissances sur les faunes alpines, en particulier sur celles du Jurassique inférieur et moyen. Je citerai notamment, parmi ces gisements (1), celui de la zone à *Phylloceras ibex* de Saint-Firmin-en-Valgodemar, indiqué pour la première fois dans les Alpes françaises ; ceux de la zone à *Deroceras Davœi*, du Rousset et de la

(1) Je dois l'indication de plusieurs de ces gisements à des géologues locaux, mais la détermination des espèces recueillies est entièrement mon œuvre personnelle.

Bréole, renfermant plusieurs espèces d'*Harpoceras* ; ceux de la zone à *Lytoceras jurense* de la Combe de Bayons, de Rambaud et de la Bâtie-Vieille, qui ont fourni les espèces les plus caractéristiques de cet horizon ; ceux encore de la zone à *Macrocephalites macrocephalus* de Gap et de la zone à *Peltoceras athleta* de Savines.

Les faunes bajociennes et bathoniennes des environs de Digne et de Gap ont attiré tout particulièrement mon attention, d'abord à cause de leur caractère méditerranéen, attesté par la prédominance numérique des individus du genre *Phylloceras*, puis en raison du fait qu'on ne connaît nulle part une succession aussi complète d'horizons du Jurassique moyen représentés exclusivement avec leur faciès à Céphalopodes. Je me suis donc attaché à donner une étude paléontologique aussi minutieuse que possible de chacun de ces horizons. J'ai distingué les suivants :

Bathonien.
  Zone à *Oppelia aspidoides*,
  » » *Oppelia fusca*.
Bajocien.
  Zone à *Cosmoceras subfurcatum*,
  » » *Witchellia Romani*,
  » » *Sphæroceras Sauzei*,
  » » *Witchellia læviuscula*.
Aalénien.
  Zone à *Harpoceras concavum*.

Cet horizon inférieur, qui constitue la zone la plus élevée de l'étage aalénien (voir plus bas), n'avait pas encore été signalé dans les Alpes. J'y ai trouvé, à côté de l'espèce qui lui a donné son nom : *Harpoceras cornu*, plusieurs espèces de *Phylloceras* et de *Lytoceras* et une curieuse forme, qui, en Angleterre, occupe le même niveau, *Haplopleuroceras subspinatum*. Les deux zones inférieures du Bajocien sont généralement difficiles à séparer, car les bancs calcaires, d'ailleurs assez fossilifères, qui les représentent possèdent les mêmes caractères lithologiques.

La zone à *Witchellia Romani* est représentée par les couches bien connues à Ammonites ferrugineuses de Beaumont, près Digne. J'ai publié une revision détaillée de sa faune.

La zone supérieure du Bajocien et la zone inférieure du Bathonien avaient souvent été confondues, j'ai réussi à faire le départ de leurs faunes et à montrer quelles n'ont en commun qu'un petit nombre d'espèces.

Dans tous ces niveaux les *Phylloceras* sont particulièrement abondants, par suite de la profondeur relativement considérable à laquelle se sont

effectués les dépôts. Je me suis efforcé d'en bien fixer les différentes espèces, en suivant les modifications qu'elles présentent au cours de leur évolution individuelle, de manière à permettre la détermination d'exemplaires de toute taille, car souvent on avait éprouvé des difficultés à identifier les petits moules internes ferrugineux et les grands échantillons calcaires d'une même espèce.

Zones de l'Aalénien et du Bajocien. — Mes études sur la succession des faunes à Céphalopodes de l'Alsace et des Alpes françaises devaient forcément me conduire à appliquer les résultats obtenus à d'autres régions de l'Europe occidentale. En comparant entre elles les successions observées par moi dans les pays que j'avais plus spécialement étudiés et celles que d'autres auteurs avaient établies en Souabe (Quenstedt), en Angleterre (Buckman), en Normandie (Munier-Chalmas), j'ai été amené à modifier, sur certains points, la classification des couches terminales du Lias et celle du Bajocien (I, 6; II, 7). J'ai pu m'assurer que plusieurs niveaux, loin d'être, comme on l'avait cru, des horizons locaux, avaient la valeur de zones paléontologiques, représentées partout où la succession des dépôts est complète. Mes études paléontologiques sur les genres *Harpoceras*, *Dumortieria*, *Sonninia*, etc. me permettaient de donner à certains parallélismes toute la précision nécessaire en pareil cas et, de plus, j'ai pu fixer très exactement la répartition verticale des genres et des espèces d'Ammonites dans la série des terrains s'étendant du Lias moyen au Bathonien. Ce travail m'a permis d'établir la limite supérieure du Lias sur des données paléontologiques, alors que la plupart des auteurs l'avaient basée sur des faits stratigraphiques locaux, d'où les plus grandes divergences dans sa détermination.

J'ai reconnu que les faunes des deux zones successives caractérisées par *Lytoceras jurense* et par *Dumortiera pseudoradiosa* différaient totalement. Dans la zone inférieure dominent les *Lillia*, les *Haugia*, les vrais *Grammoceras*; ils ne s'élèvent pas dans la zone supérieure. Dans celle-ci le genre *Dumortieria* et le groupe de *Harpoceras aalense* font brusquement leur apparition; ils s'élèvent ensuite jusque dans la zone à *Harpoceras concavum*. Comme cette apparition brusque d'une faune nouvelle a lieu simultanément en Angleterre, en Normandie, en Alsace, en Souabe, il m'a semblé qu'il y avait lieu de placer entre les deux zones précitées une limite paléontologique importante. J'ai donc distrait la zone à *Dumortieria pseudoradiosa* du Toarcien ou Lias supérieur, pour faire commencer par elle un étage spécial, auquel le nom d'Aalénien, proposé autrefois par Mayer-Eymar, convient parfaitement et qui se trouve constitué par les zones suivantes :

1° Zone à *Dumortieria pseudoradiosa*,
2° » *Harpoceras opalinum*,
3° » » *Murchisonæ*,
4° » » *concavum*.

J'ai eu particulièrement à m'occuper de la répartition géographique de cette dernière zone qui, avant mes recherches, n'était connue qu'en Angleterre, si bien que Buckman avait nié son existence sur le continent. Je l'ai signalée en Alsace, dans le Jura Bernois, dans la Haute-Saône, dans les environs de Digne et de Gap, etc.

C'est seulement au-dessus de la zone à *Harpoceras concavum* que je fais commencer le véritable Bajocien. J'ai également suivi dans toute l'Europe occidentale la répartition des zones qui composent cet étage, et j'ai retrouvé partout la succession que j'ai indiquée plus haut pour les Basses-Alpes, sauf dans les points où, comme en Normandie, il existe des lacunes dans la sédimentation.

J'ai attribué à la zone à *Witchellia læviuscula*, signalée pour la première fois en Angleterre par Buckman et à May (Calvados) par Munier-Chalmas, les calcaires oolithiques de la forêt de Haye, près Nancy, les « calcaires bleus » d'Alsace, la partie supérieure des « *Sowerbyi*-Schichten » de Souabe, les couches à *Witchellia Sayni* des environs de Toulon.

Je me suis occupé plus particulièrement de la zone à *Witchellia Romani* et j'ai étudié sa faune dans le Nord de l'Allemagne, en Souabe, en Alsace, à Digne, etc.

Portlandien, Tithonique et Volgien. — La question des limites entre le Jurassique et le Crétacé, ainsi que celle des équivalents méditerranéens et boréaux du Portlandien du bassin anglo-parisien, qui en est connexe, ont donné lieu, jusque dans ces dernières années, à maintes controverses. Ce n'est que par des comparaisons paléontologiques rigoureuses, et en faisant ici encore intervenir les Ammonites, que l'on pouvait espérer arriver à une solution satisfaisante (II, 5; II, 9).

De grandes divergences de vues existaient au sujet de la limite entre le Kimeridgien et le Portlandien dans la région méditerranéenne, je me suis donc tout d'abord attaché à résoudre cette question. En partant de l'attribution au Kimeridgien supérieur (Virgulien) des couches sous-jacentes à *Reineckeia pseudomutabilis* et *Eudoxus*, j'ai été conduit à attribuer au Portlandien inférieur les couches à *Oppelia lithographica* et *Waagenia Beckeri* du bassin du Rhône et les célèbres couches de Solenhofen, qui étaient précédemment rangées dans le Kimeridgien par la généralité des auteurs. La présence de *Stephanoceras Irius*, espèce caractéristique de la

zone inférieure du Portlandien anglo-parisien, dans les calcaires à *Oppelia lithographica* des environs de Grenoble, m'a confirmé dans cette assimilation. De plus, le Volgien inférieur des géologues russes reposant directement sur des couches à *Reineckeia Eudoxus*, il y a lieu également de le paralléliser avec le Portlandien inférieur.

D'autre part, on sait que des raisons paléontologiques militent aussi en faveur de ce synchronisme. Les trois termes de Portlandien inférieur (ou Portlandien s. str.), de Tithonique et de Volgien inférieur désignent, dans la province occidentale, dans la province méditerranéenne et dans la province boréale, des couches rigoureusement de même âge.

Tandis qu'aucune objection sérieuse n'a été faite à cette nouvelle manière de concevoir les équivalents du Portlandien inférieur, il n'en est pas de même en ce qui concerne le parallélisme que j'ai admis entre le Portlandien supérieur ou Purbeckien du bassin anglo-parisien, le Berriasien des régions méridionales et le Volgien supérieur. L'accord n'est pas encore complet à ce sujet et le Berriasien est parallélisé par M. Kilian avec le Valanginien inférieur et placé par conséquent à la base du Crétacé, tandis que j'ai insisté en faveur de son attribution au Jurassique.

Système crétacé

Crétacé inférieur du Tyrol méridional. — Lors d'un voyage dans les Dolomies du Tyrol, en août 1886, j'ai eu l'occasion de visiter les quelques rares lambeaux de Néocomien que la dénudation a épargnés dans cette région et j'ai étudié plus particulièrement ceux de l'Alpe Puez, près Corvara, dans la vallée d'Abtei (II, 2).

Sur les calcaires triasiques à *Megalodon* de cette localité repose une brèche qui passe insensiblement vers le haut à une dolomie verdâtre. Il est probable que ces couches représentent le Tithonique inférieur transgressif, car elles supportent immédiatement des marnes lie de vin, qui renferment à la fois des espèces de l'horizon de Stramberg et des types valanginiens. C'est au-dessus de ce niveau que s'élève la série des marnes et des calcaires siliceux, avec lits de gros nodules calcaires, d'où proviennent les fossiles néocomiens et barrémiens dont j'ai publié la monographie (I, 4). J'ai pu m'assurer que la partie inférieure renferme des espèces hauteriviennes, telles que *Holcostephanus Astierianus* et *Hoplites angulicostatus*; que la riche faune barrémienne occupe la partie moyenne et que les couches supérieures, plus marneuses, contiennent des formes aptiennes, en particulier de gros *Ancyloceras*.

Des comparaisons basées sur l'étude des Céphalopodes m'ont permis de mettre en évidence les grandes affinités que présentent ces faunes succes-

sives de l'Alpe Puez avec les faunes de différentes régions de la province méditerranéenne et en particulier avec celles du Sud-Est de la France. J'ai soumis à cet effet à une revision complète et à une redétermination les riches séries qui se trouvent dans les collections du Laboratoire de Géologie de la Sorbonne.

Les localités néocomiennes du Tyrol méridional autres que l'Alpe Puez sont beaucoup moins fossilifères, mais les conditions stratigraphiques de leur gisement n'en sont pas moins intéressantes. A la Punta di Bovai, dans le massif de Sella, le Néocomien, que j'ai été le premier à signaler dans ce massif, n'est séparé du Trias que par un conglomérat. Dans le voisinage des chalets de Fanes, au N.E. de Saint-Cassian, le Trias supporte par contre une série assez puissante de Lias, de Jurassique moyen et supérieur, couronnée par le Néocomien, conservé dans quelques replis synclinaux. Ces faits mettent en évidence la transgressivité du Tithonique, puisque ce terme, toujours concordant dans la région avec le Néocomien, repose tantôt directement sur le Trias, tantôt sur un terme quelconque du Jurassique.

Je reviendrai plus loin sur cette transgressivité du Tithonique. En ce qui concerne sa concordance avec le Néocomien, j'ajouterai encore que certaines faunes des régions méditerranéennes établissent un lien paléontologique intime entre l'horizon de Stramberg (Tithonique supérieur) et l'horizon de Berrias, que M. Kilian place déjà dans le Crétacé. Ainsi à Roverè di Velo, dans le Véronais, se trouve, dans le « Titonico bianco » des auteurs italiens, une faune dont j'ai publié la revision (II, 5), qui est constituée par un mélange d'espèces tithoniques et d'espèces caractérisant les horizons inférieurs du Néocomien.

Crétacé des Alpes occidentales. — Mes travaux dans les Basses et Hautes-Alpes et dans la Haute-Savoie m'ont donné maintes fois l'occasion de m'occuper des dépôts crétacés ; je ne les ai toutefois pas étudiés d'une manière aussi complète que les dépôts jurassiques, puisque, grâce aux travaux de mes prédécesseurs, ils étaient beaucoup mieux connus et puisqu'ils jouent en général dans les régions que j'ai explorées un rôle plutôt secondaire.

J'ai découvert dans les Chaînes subalpines, entre Gap et Digne, plusieurs lambeaux nouveaux de Néocomien, conservés dans des plis synclinaux ; l'un d'eux, celui du Grand-Abian, près la Motte-du-Caire, m'a fourni un assez grand nombre d'espèces valanginiennes.

J'ai visité à plusieurs reprises le témoin néocomien du Puy de Manse, près Gap, signalé dès 1855 par Rozet ; j'y ai recueilli quelques espèces hauteriviennes

et j'y ai reconnu également l'existence des marnes de l'Aptien supérieur (II, 6). Ce lambeau de Crétacé inférieur passait pour être le dernier que l'on rencontrât en se dirigeant vers l'intérieur de la chaîne : nous avons cependant découvert, M. Kilian et moi, bien plus à l'est, au Chapeau de Gendarme, près Barcelonnette, des calcaires néocomiens à *Belemnites subfusiformis*, *Aptychus Didayi*, *Rhynchotheutis* sp. (III, 23).

Dans la Haute-Savoie, je me suis surtout occupé de la répartition géographique des faciès, dont il sera question plus loin. J'ai suivi les marnes noires valanginiennes dans la chaîne des Aravis et j'ai trouvé ainsi un nouveau gisement d'Ammonites pyriteuses au-dessus des chalets de Doran, à 2.000 mètres d'altitude.

Je n'ai pas fait d'observations nouvelles sur les termes moyens du système crétacé, mais je rappellerai que j'ai reconnu l'existence du Turonien à *Inoceramus labiatus* près de Thoard, au nord de Digne, dans une région où rien ne permettait de supposer que le Crétacé supérieur se fût déposé (II, 6).

Cénomanien de Diego-Suarez (Madagascar). — Grâce à l'obligeance de M. Coridon, j'ai eu à ma disposition une série de fossiles cénomaniens recueillis par lui dans les environs de Diego-Suarez, à la pointe septentrionale de Madagascar, où avaient déjà été signalés plusieurs horizons du Crétacé supérieur (II, 10).

Un premier lot comprend des Céphalopodes de grande taille, que j'ai pu identifier pour la plupart à des espèces des couches d'Ootatoor inférieures de l'Inde ; ils appartiennent donc à la zone à *Schlœnbachia inflata*, c'est-à-dire à un niveau que certains auteurs placent dans l'Albien supérieur, tandis que son attribution au Cénomanien inférieur paraît plus rationnelle.

Le Cénomanien moyen est représenté par un second lot, renfermant des espèces dont les affinités avec les formes de l'Inde sont encore plus frappantes que dans le cas précédent. La ressemblance des deux gisements s'étend non seulement aux Ammonoïdés (*Acanthoceras Mantelli*, *Turrilites tuberculatus*, etc.), mais encore aux Bélemnites, aux Gastropodes, voire même aux Serpules (*Serpula ootatoorensis*).

Les recherches que, sur mes conseils, M. Lemoine a entreprises récemment dans les environs de Diego-Suarez, permettent maintenant de préciser les conditions de gisement des divers étages du Crétacé.

Système nummulitique

Chaînes subalpines. — Dans la région subalpine située entre Gap et Digne, je n'ai rencontré de dépôts nummulitiques marins fossilifères qu'en

un seul point, entre Faucon et Gigors (Basses-Alpes) (II, 6). C'était, au moment où je fis la découverte de ce lambeau, la localité la plus occidentale que l'on connût dans les Alpes, au sud de Gap. Des calcaires marneux fétides, remplis de Nummulites indéterminables, de débris de Lamellibranches, de Bryozoaires et de Zoanthaires, y reposent directement sur le Callovien. Le seul fossile bien conservé que j'y aie recueilli est un gros exemplaire d'*Ostrea gigantica*, espèce qui ne donne pas de renseignement très précis sur l'âge du gisement, qui est probablement priabonien. A Faucon, les calcaires marneux nummulitiques n'ont que quelques mètres d'épaisseur, ils augmentent de puissance vers le N.E. et prennent alors les caractères du Flysch de l'Embrunais.

Partout ailleurs dans la région, la série tertiaire débute par des conglomérats et des grès rouges, qui, à Faucon, font suite aux calcaires à Nummulites, et qui, en général, reposent directement sur les dépôts crétacés ou même sur les termes supérieurs du Jurassique, du Callovien au Berriasien. Cette formation essentiellement transgressive avait été méconnue avant mes recherches. Les anciens auteurs et M. Kilian en avaient attribué les affleurements des Basses-Alpes au Trias. Sa superposition aux calcaires à Nummulites et sa concordance avec le Miocène inférieur m'ont conduit à l'attribuer à l'Oligocène. C'est une formation continentale, analogue par bien des caractères à la « Mollasse rouge » aquitanienne du Plateau suisse.

Faudon et Haut-Drac. — Pendant les longues années que j'ai consacrées au levé géologique de la feuille de Gap, j'ai eu maintes fois l'occasion de visiter la localité classique de Faudon, située entre Ancelle et la Bâtie-Neuve. Malgré les dislocations qu'y ont subies les couches nummulitiques et malgré les glissements de terrain assez fréquents, j'ai pu fixer la succession des horizons fossilifères (II, 12) et reconnaître la présence de trois niveaux à Nummulites distincts, dont un seul était connu, celui qui a fourni à Bruguière et à Deshayes les types de leurs *Nummulites striatus* et *contortus*.

La série nummulitique repose à Faudon, comme en plusieurs points du Champsaur, sur les marnes calloviennes et oxfordiennes. Elle débute souvent par un conglomérat de base, qui manque à Faudon même. Les premières couches éocènes y sont constituées par des marnes sableuses grises, pétries de petites Nummulites granuleuses, appartenant sans doute à une espèce nouvelle.

Une masse assez épaisse de schistes calcaires blancs sépare ce niveau inférieur des marnes très fossilifères qui ont fait la célébrité de Faudon. Dans ces marnes, les Nummulites sont particulièrement abondantes. On y rencontre surtout une forme de taille moyenne à mégalosphère, *Nummulites striatus*, et la

forme à microsphère correspondante, de grande taille, *Nummulites contortus* (1). En outre, *Nummulites variolarius* est très commun, ainsi qu'un autre Foraminifère, *Operculina ammonea*. Les Mollusques d'eau saumâtre, tels que *Cerithium diaboli*, *C. plicatum*, *C. elegans* et les grosses *Natica vapincana*, sont très communs dans certains bancs. Un autre niveau renferme la majorité des Zoantbaires et les Mollusques franchement marins. Les différentes couches paraissent correspondre à de légères variations dans la salure des eaux, mais elles forment un ensemble dans lequel *Nummulites striatus* se rencontre à tous les niveaux.

On ne peut donc pas considérer comme s'étant succédé dans le temps un niveau à Nummulites et un niveau à Mollusques; et, à plus forte raison, est-il inadmissible de placer ces deux niveaux dans deux étages différents.

Il existe à Faudon un troisième niveau à Nummulites, caractérisé par une espèce de petite taille, non granulée, à filets cloisonnaires rayonnants, que j'ai rapportée à *Nummulites Boucheri*. Cette forme est extrêmement abondante dans des calcaires gris foncé ou noirs, très répandus dans le pays, à Pontis, au Lauzet, au col Bas, etc. C'est le terme le plus élevé de la série nummulitifère. A Faudon, comme ailleurs, il est surmonté par une masse puissante de grès siliceux, en bancs réguliers, alternant avec des schistes.

Dans les environs du Pont-du-Fossé et d'Orcières, dans la haute vallée du Drac, les faciès ne sont pas tout à fait les mêmes et le niveau à *Nummulites striatus* est seul représenté par des couches fossilifères, mais il y est à l'état de calcaires, faisant suite, là où la base de la série est visible, à un conglomérat à ciment rouge (III, 9). Le niveau à *Nummulites striatus*, au lieu d'être recouvert, comme à Faudon, par des calcaires, supporte une épaisseur immense de marnes noires sans fossiles, très développées aussi dans l'Embrunais et dans l'Ubaye, où M. Kilian et moi les avons désignées sous le nom de « Flysch noir ».

Elles supportent des grès identiques à ceux de Faudon, qui forment dans les Alpes du Dauphiné et de la Haute-Provence un niveau très constant au sommet des formations nummulitiques. On les désigne sous le nom de « grès d'Annot », leur âge est à peu près le même que celui de la « Mollasse rouge » des Chaînes subalpines.

Embrunais et Ubaye (en collaboration avec M. Kilian). — M. Kilian et moi avons signalé pour la première fois dans la vallée de Barcelonnette

(1) *Nummulites contortus* et *striatus* constituent un *couple* ou, en d'autres termes, deux générations alternantes d'une même espèce. J'ai reconnu sur les deux formes la présence de filets cloisonnaires hérissés de petites indentations, qui font saillie vers l'intérieur des loges, sans jamais se rejoindre d'une cloison à l'autre.

en 1898 (III, 37) des calcaires et des grès à grandes Nummulites, appartenant à un horizon qui n'est pas représenté à Faudon. C'est le niveau à *Nummulites millecaput* (*complanatus*) et à *Nummulites aturicus* (*perforatus*)-*Lucasanus*, connu seulement en un petit nombre de points des Alpes occidentales : dans les environs de Nice, dans les Bauges, dans les Alpes suisses. Après l'avoir rencontré dans les masses en recouvrement de l'Empeloutier, du Mourre-Haut, de Talon, des Séolanes, du Caire, généralement en contact avec le Jurassique supérieur, nous avons retrouvé des grès et des brèches, avec les mêmes grandes Nummulites, intercalés dans le Flysch, par suite de dislocations intenses, à Champanastays, à Champcontier et même à Saint-Clément, dans la vallée de la Durance.

Il n'existe nulle part, dans les Alpes françaises, de niveau éocène plus ancien que ces couches à *Nummulites millecaput*, qui représentent la partie supérieure du Lutétien. Elles sont recouvertes dans l'Ubaye par des schistes calcaires très puissants, blancs ou gris, quelquefois verdâtres (« Flysch calcaire »). Lorsque les couches à grandes Nummulites font défaut, ces schistes reposent directement sur le Jurassique, comme par exemple à Gournier, près Réallon, à Châteauroux et à Guillestre, dans la vallée de la Durance. A Saint-Appolinaire et à Orcières, les bancs les plus compacts de cette série de schistes calcaires montrent sous le microscope des quantités de Foraminifères, parmi lesquels j'ai pu reconnaître des Globigérines, des Textulaires et une espèce qui est généralement considérée comme crétacée, *Pulvinulina tricarinata*. Par leur position stratigraphique, ces couches ne peuvent être crétacées, comme je l'avais pensé, *elles représentent un type éocène, bartonien, de la boue à Globigérines des mers actuelles*. M. Kilian et moi nous avons retrouvé ces mêmes schistes calcaires, le plus souvent à l'état de marbre phylliteux, c'est-à-dire très froissés par les plissements intenses qu'ils ont subis, dans la Haute-Ubaye et dans les environs de Guillestre (III, 27; III, 37). Ils existent également dans le Briançonnais, où on les avait attribués à tort au Trias. Dans la série autochtone du Bachelard ils sont remplacés par des calcaires marneux en bancs épais, renfermant de grandes masses de brèches, qui existent également à Savines. Le « Flysch calcaire » est recouvert, dans les environs de Réallon, des Thuiles, d'Uvernet, de Saint-Paul, etc., par la puissante série du « Flysch noir » ; au Lauzet, par des calcaires à *Nummulites Boucheri* et *Orthophragmina;* au Martinet, par des calcaires bleus à ciment, avec Helminthoïdes; à Châteauroux, Saint-André, aux Orres et à Jausiers, par des alternances de dalles gréseuses ou calcaires et de schistes ardoisiers ou fissiles, souvent rouges ou verts, avec Helminthoïdes. Ces divers faciès sont synchroniques et représentent le Priabonien.

Ils sont surmontés d'une manière constante par les grès d'Annot, conservés seulement dans les synclinaux. Dans le sud de la région, les grès prédominent; dans le nord, par contre, en particulier dans le massif élevé de plus de 3.000 mètres du Mourre-Froid et de Couleau, les intercalations schisteuses deviennent assez puissantes et admettent même quelques bancs calcaires.

Il semble que, dès l'Oligocène, les deux massifs cristallins du Pelvoux et du Mercantour aient formé des îles présentant un certain relief, car nous avons trouvé, M. Kilian et moi, des galets de micaschistes et de granite aussi bien dans le « Flysch noir » que dans le grès d'Annot.

Classification des couches éocènes et oligocènes des Alpes. — Les Gastropodes et les Lamellibranches se prêtent mal à l'établissement de zones paléontologiques; dans les Alpes ils sont d'ailleurs presque toujours rares ou mal conservés. En revanche, les Nummulites sont d'excellents fossiles caractéristiques, aussi divers auteurs, tels que Max von Hantken, Ph. de la Harpe et, plus récemment, M. Henri Douvillé, ont-ils essayé d'établir une « échelle » des Nummulites, constituée par une succession d'horizons, qui renferment chacun un groupe ou un couple caractéristique. J'ai cherché à appliquer ces diverses tentatives à la série nummulitique des Alpes françaises, mais je me suis heurté à des difficultés résultant des divergences entre les différentes échelles et de leur trop grande complication en ce qui concerne l'étage parisien.

Je me suis trouvé conduit à simplifier la série des horizons et à proposer l'échelle suivante (V, 5; II, 13):

Tongrien :	Zone à	*Nummulites*	*intermedius* — *Fichteli.*
Parisien	Zone à	*Nummulites*	*contortus* — *striatus.*
	»	»	*aturicus* (*perforatus*) — *Lucasanus.*
	»	»	*lævigatus* — *Lamarcki.*
Suessonien	Zone à	*Nummulites*	*planulatus* — *elegans.*
	»	»	*spileccensis.*

Je me suis attaché particulièrement à caractériser le niveau à *Nummulites contortus-striatus*, qui renferme également *Nummulites variolarius*, espèce caractéristique du Parisien supérieur ou Bartonien des environs de Paris. De grandes divergences d'opinion se sont fait jour au sujet de la position stratigraphique de cet horizon. Tandis que beaucoup d'auteurs en font du Bartonien, M. Henri Douvillé l'assimile au Priabonien, étage que d'autres identifient avec la zone à *Nummulites intermedius - Fichteli*. La position des couches à *Cerithium diaboli* des Diablerets, de Faudon, de la

Granella dans le Vicentin, a donné lieu, de même, à de nombreuses discussions.

J'ai cherché à démontrer que les couches à *Nummulites contortus* et celles à *Cerithium diaboli*, qui occupent un même horizon, doivent être placées au sommet du Parisien et qu'il convient de les paralléliser avec les couches de Roncà, du Vicentin, et avec le Bartonien du bassin anglo-parisien (II, 13).

En effet, les couches de Priahona, dans le Vicentin, ne renferment jamais, contrairement à ce que l'on a prétendu, le couple *contortus-striatus;* on n'y rencontre que les espèces caractéristiques de la zone supérieure de l'échelle des Nummulites, c'est-à-dire les couples *intermedius-Fichteli*, *vascus-Boucheri* et *Bouillei-Tournoueri*.

Par contre, les Nummulites granulées, si caractéristiques du niveau à *Numm. aturicus*, montent jusque dans le niveau à *Numm. contortus*, et le couple *millecuput-Tchihatcheffi*, qui débute avec la zone à *Numm. aturicus*, se trouve cantonné en Hongrie au-dessus de l'horizon caractérisé par le couple *contortus-striatus*.

D'autre part, l'examen des Mollusques des couches à *Cerithium diaboli*, des Diablerets et de Faudon, montre que parmi eux se trouvent les espèces les plus caractéristiques du Bartonien, voire même du Lutétien, tout comme dans la faune de Roncà; tandis que, inversement, on a signalé dans les couches de Roncà du comitat de Gran, en Hongrie, les espèces saumâtres à affinités oligocènes les plus caractéristiques de la faune de Faudon.

J'ai conclu de ces faits que les couches à *Nummulites contortus-striatus* et *Cerithium diaboli* ont des relations paléontologiques bien plus étroites avec l'étage parisien qu'avec le Priahonien.

La question des limites naturelles entre l'Éocène et l'Oligocène m'a également préoccupé; elle est, d'ailleurs, connexe de la précédente. La limite conventionnelle des deux groupes est placée différemment par l'École allemande et par une partie de l'École française. Beyrich, le créateur du terme d'Oligocène, fait commencer ce groupe par les couches de Lattorf, par lesquelles débute la grande transgression marine de l'Allemagne du Nord. Ceci revient à placer dans l'Oligocène les couches à *Ostrea ventilabrum* de Belgique, c'est-à-dire le Tongrien inférieur de Dumont, l'équivalent de notre Gypse des environs de Paris. J'ai montré dès 1895 (III, 14) que, si l'on attribuait les couches du bassin anglo-parisien à l'Oligocène inférieur, il fallait également y ranger le Priabonien, qui est leur équivalent exact. Je me suis arrêté à cette solution (V, 5) et j'en ai donné les raisons paléontologiques (II, 12).

Le Priabonien de Biarritz voit en effet apparaître une série de types nouveaux, étrangers à la faune de l'Éocène, en particulier les premiers représentants en Europe des genres *Scutella* et *Clypeaster*. Les mêmes

formes cryptogènes ont été trouvées dans le Priahonien du Vicentin et de la Tunisie. Ce fait paléontologique capital, joint à la transgression du Tongrien inférieur dans le Nord et dans l'Est de l'Europe, m'a déterminé à placer le Priahonien dans l'Oligocène inférieur, qui, sous le nom de Tongrien, comprend un sous-étage inférieur, le Priahonien (Munier-Chalmas et de Lapparent), ou Lattorfien (Mayer-Eymar), et un sous-étage supérienr, le Bormidien (Pareto) ou Sannoisien (M.-Ch. et Lapp.), ou encore Henisien (Mayer-Eymar).

Les questions, en apparence conventionnelles, des limites stratigraphiques, peuvent être ainsi le plus souvent tranchées en faisant intervenir à la fois les grandes transgressions et les apparitions dans la faune d'éléments nouveanx, introduits par immigration.

Système pléistocène

Environs de Gap et de Seyne. — Mes explorations sur les feuilles de Digne et de Gap en vue du levé de la carte géologique m'ont amené à m'occuper également, sinon du tracé détaillé des contours relatifs aux terrains pléistocènes, du moins d'une étude d'ensemble de ces terrains, permettant l'établissement d'une légende en barmonie avec les feuilles voisines.

Les travaux relatifs au Pléistocène de la vallée de la Durance en amont de Sisteron sont peu nombreux. Ceux de M. David Martin ont le grand mérite de démontrer que le glacier quaternaire des environs de Gap avait son origine dans le Briançonnais et non pas, comme on le croyait antérieurement, dans la baute vallée du Drac. M. David Martin est partisan convaincu de l'unité de la période glaciaire, il nie l'existence de plusieurs glaciations successives, séparées par des phases de retrait, tandis que mes recherches m'ont conduit à admettre, avec M. Penck et ses collaborateurs, la réalité de ces grandes oscillations. J'ai pu reconnaître, dans le bassin de la Durance, en plus de la glaciation de la fin du Pliocène supérieur, non pas deux glaciations pléistocènes successives, comme on le fait généralement dans les Alpes, mais trois, d'importance décroissante.

C'est d'ailleurs un fait bien connu que la première glaciation pléistocène a été la plus étendue. Elle a déposé les « moraines externes » et recouvre souvent les alluvions de la « haute terrasse ». A la Freissinouse, ses moraines se sont étendues par-dessus les dépôts fluvio-glaciaires pliocènes (« Deckenschotter ») ; au sud de Seyne elles se sont, par contre, déposées en contre-bas d'une terrasse pliocène, dont on retrouve les traces jusqu à

Digne, et l'on a des preuves évidentes d'un creusement post-pliocène, antérieur à cette première glaciation pléistocène.

Chacune des deux glaciations suivantes est, de même, séparée de la précédente par une phase de creusement, de sorte que les moraines des trois glaciations pléistocènes sont « emboîtées » à la manière des terrasses d'alluvions. On constate ainsi, dans la vallée de la Luye, en amont de Gap, l'existence de trois terrasses topographiques recouvertes de moraines, étagées à des altitudes différentes. On distingue de même, dans la vallée de la Durance, entre Tallard et Savines, ainsi que dans la vallée de l'Ubaye, trois séries de moraines et les traces d'autant de creusements interglaciaires.

MM. Penck et Kilian ont montré comment, dans les environs de Sisteron, la « basse terrasse », ou mieux la « moyenne terrasse » d'alluvions passe en amont, par un cône de transition, aux « moraines internes ». J'ai pu de même constater qu'une terrasse plus récente, que l'on suit depuis la Saulce jusqu'au-delà de Tallard, passe vers Remollon à des moraines qui occupent le fond même de la vallée de la Durance actuelle et qui correspondent à une troisième glaciation.

On aurait pu se demander si l'on n'était pas là en présence d'une simple phase de retrait des glaciers de la seconde période ; la découverte que j'ai faite en 1900 (III, 37) de *dépôts interglaciaires* entre des moraines de fond de la seconde glaciation et tout un appareil fluvio-glaciaire plus récent ne laisse aucun doute sur l'existence d'une troisième période indépendante. Les sablières situées à trois kilomètres environ au sud de Gap, le long de la route de la Luye, sont particulièrement instructives. Voici la succession que j'ai pu y observer :

1° Boue glaciaire assez épaisse, dont le substratum, vraisemblablement formé par des marnes batboniennes, n'est pas visible ;

2° Sables grossiers, à stratification normale ou entrecroisée, atteignant environ 7 mètres d'épaisseur ;

3° Cailloutis constitués par de gros éléments bien roulés, 3 mètres.

Ces cailloutis supérieurs forment un petit plateau découpé par des érosions ultérieures. Si on les suit vers le nord, on voit les éléments devenir plus gros, moins régulièrement calibrés, plus anguleux. Puis, en même temps que la surface du plateau s'élève en pente très douce, de vrais blocs erratiques apparaissent et l'on passe ainsi insensiblement à une véritable moraine frontale, très surbaissée, en arrière de laquelle se trouve la dépression centrale de Gap.

Les sables sous-jacents alternent par places avec des graviers, mais ils ne passent pas latéralement à des formations glaciaires ou fluvio-glaciaires. Certains lits sont remplis de matière charbonneuse. Vis-à-vis du moulin du Pré, des calcaires concrétionnés, formés par des sources, s'intercalent à la base des

sables. On est ici incontestablement en présence de dépôts effectués entre deux grandes phases d'avancée du glacier de Gap; ce sont de vraies formations interglaciaires.

J'ai attribué, par analogie, le même âge aux cailloutis du Roc d'Embrun, dont la nature interglaciaire a été reconnue par M. Penck. Les dépôts morainiques qu'ils supportent appartiennent aussi à la troisième période glaciaire pléistocène.

On connaît d'ailleurs actuellement, dans de nombreuses régions de l'Europe centrale, des dépôts correspondant à cette troisième phase, que l'on a quelquefois qualifiée de « récurrence postglaciaire ». Je crois être le premier à en avoir signalé l'existence dans les Alpes françaises (V, 8).

TRAVAUX SYNTHÉTIQUES

Distribution géographique des faciès dans le bassin du Rhône. — L'étude détaillée que j'ai faite des terrains jurassiques et crétacés dans les Basses-Alpes et dans les Hautes-Alpes m'a conduit à m'occuper de la distribution géographique des différents faciès que peuvent revêtir ces terrains, d'abord dans tout le bassin du Rhône (II, 6), puis dans toute la région des Alpes occidentales (III, 8 ; III, 28). J'ai pu dégager de la coordination des données acquises des résultats généraux permettant la reconstitution des conditions bathymétriques que présentaient, aux temps secondaires, les mers alpines.

Il résulte de mes observations et de celles de mes prédécesseurs que, dans les massifs montagneux situés entre Digne, Gap et Barcelonnette, la succession des dépôts jurassiques et crétacés est complète et parfaitement continue. J'ai constaté, du bas en haut de la série, une grande uniformité de faciès, une prédominance des dépôts argileux ou marno-calcaires, une absence complète de roches arénacées, de calcaires zoogènes ou oolithiques. C'est le faciès calcaréo-vaseux de certains auteurs. Les caractères paléontologiques des dépôts ne sont pas moins uniformes : les Zoanthaires, les Échinodermes, les Brachiopodes, les Gastéropodes font presque entièrement défaut; les Lamellibranches sont à peu près réduits aux genres *Posidonomya*, qui pullule dans la partie moyenne du Jurassique, et *Inoceramus*, qui abonde dans l'Aalénien et dans le Crétacé supérieur. En revanche, les Céphalopodes, et en particulier les Ammonites, se rencontrent pour ainsi dire à tous les niveaux et souvent à l'exclusion de tous autres restes organiques. C'est grâce à eux que l'on peut établir des

horizons paléontologiques dans cette série monotone, puissante de plus de 1000 mètres. Mais souvent, comme par exemple dans la région entre Gap et Seyne, les fossiles sont si rares que la délimitation des étages devient assez arbitraire.

J'ai appelé *faciès danphinois* ce type spécial des terrains jurassiques et crétacés, plus tard (II, 11), suivant l'exemple de M. Renevier, j'ai qualifié de *bathyales* les formations que je viens de définir.

Plusieurs auteurs avaient déjà insisté sur le caractère littoral qu'affectent les terrains secondaires sur le bord septentrional du massif des Maures et de l'Esterel, qui, dès cette époque, était en grande partie émergé. J'ai établi l'existence d'une zone de mer peu profonde, correspondant à ce que l'on a appelé quelquefois la région *néritique*, s'étendant au nord du rivage ancien jusque dans la direction de Digne. C'était une sorte de plateforme continentale, sur laquelle se déposaient des formations toutes différentes de celles de la région bathyale. Les dépôts zoogènes, les faciès à Lamellibranches, à Échinodermes, à Brachiopodes y prédominent. Les sédiments vaseux n'y jouent qu'un rôle insignifiant, les Céphalopodes sont devenus beaucoup plus rares. L'ensemble de la série ne possède qu'une faible épaisseur. A l'uniformité, caractéristique du type dauphinois, fait place une grande variété des dépôts dans le sens vertical, se traduisant par de brusques changements dans leur nature lithologique. La série secondaire, au lieu d'être parfaitement continue, présente ici des lacunes assez nombreuses, attestant des émersions temporaires, des oscillations positives et négatives du fond correspondant à la plateforme.

J'ai appelé faciès *provençal* ce type néritique des terrains jurassiques et crétacés.

Si, en partant de Digne, au lieu de se diriger vers le S.W., on s'avance vers l'intérieur de la chaîne, dans la direction du N.E., on constate des changements de faciès tout à fait analogues à ceux qui se produisent quand on s'approche du littoral des Maures. Les couches jurassiques et crétacées qui ne disparaissent pas entièrement prennent un faciès particulier, analogue au faciès provençal et que j'ai appelé faciès *briançonnais*, parce que c'est dans la zone tectonique du Briançonnais qu'il trouve sa meilleure expression.

Les formations bréchoïdes ou coralligènes prédominent dans le Lias et dans le Jurassique supérieur; les termes moyens du Jurassique manquent presque toujours, de même que le Crétacé inférieur; le Crétacé supérieur est représenté par un faciès à Rudistes. L'existence de grandes lacunes dans la série jurassique et crétacée du Briançonnais montre que la région a été temporairement exondée; le caractère exclusivement néritique des termes représentés permet de conclure à l'existence d'une zone de faible profondeur.

Les travaux de MM. Léon Bertrand, Kilian, Termier, Révil, Marcel Bertrand, Renevier permettent de suivre les faciès briançonnais depuis les Alpes-Maritimes jusque dans le Valais, à travers le Briançonnais, la Maurienne, la Tarantaise, le Val Ferret.

A l'ouest de cette zone de sédimentation, qui coïncide à peu près avec une zone de plissements, on ne rencontre que le faciès dauphinois. Le Lias et le Jurassique moyen se poursuivent d'une manière continue avec le type bathyal depuis les Alpes-Maritimes jusque au-delà du Mont-Blanc. Les termes plus élevés ont été en grande partie enlevés par les érosions anténummulitiques. Le Néocomien à Céphalopodes, en particulier, n'est connu que dans des nappes charriées, dont la racine se trouvait sans doute dans la zone du Mont Blanc.

Si en partant des Hautes Chaînes de la Savoie on s'avance encore davantage vers l'ouest, on rencontre, dans le Jura méridional et dans les massifs de la Chartreuse et du Vercors qui le prolongent vers le sud, des faciès rappelant de nouveau ceux de la zone provençale. Une seule lacune existe à la limite du Jurassique et du Crétacé, mais les formations néritiques se rencontrent à peu près à l'exclusion des formations bathyales. Les mêmes faciès existent sur le bord du Massif Central au nord de Valence, de sorte que j'ai admis l'existence d'un plateau sous-marin prolongeant le Massif et s'étendant sur l'emplacement actuel du Jura. C'est la zone *jurassienne*, pendant de la zone provençale.

Les formations bathyales sont donc confinées entre la zone briançonnaise, d'une part, et les zones jurassienne et provençale, de l'autre. Elles occupent un véritable chenal profond, qui, en raison de la grande épaisseur qu'y possèdent les dépôts, doit être envisagé comme un *géosynclinal*, c'est-à-dire comme un vaste pli concave de l'écorce terrestre dont la courbure s'accentuait à mesure que les sédiments s'y accumulaient. La descente du fond du bassin marchant de pair avec la sédimentation, la profondeur de la mer restait sensiblement constante et les dépôts conservaient leur caractère bathyal.

La largeur du géosynclinal était essentiellement variable d'une époque à l'autre, au Néocomien elle était probablement réduite à son minimum. Entre Grenoble et Digne, le plateau sous-marin, qui au nord et au sud de ces deux points faisait face au plateau briançonnais, manquait, et les grandes profondeurs se continuaient vers l'ouest jusqu'au bord du Massif Central, au moins à partir du Bajocien. C'était là l'emplacement d'une fosse, dont j'ai le premier indiqué l'existence et dont M. Paquier a précisé les contours aux époques successives, en lui donnant le nom de *fosse vocontienne*.

Si la région à faciès dauphinois constituait un géosynclinal, la zone briançonnaise peut être envisagée comme un *géanticlinal*, comme une courbure convexe de l'écorce terrestre. Car, en effet, à l'est de cette bande temporaire-

ment émergée, s'étend de nouveau une vaste région caractérisée par des formations vaseuses, que par analogie on peut considérer comme bathyales, quoique les Ammonites y fassent défaut. C'est la zone des Schistes lustrés du Piémont, où l'immense épaisseur des sédiments atteste l'existence d'un géosynclinal.

Je considère depuis longtemps les Schistes lustrés comme en grande partie liasiques et non triasiques, car les calcaires qui, dans la zone du Piémont, forment, d'après M. Franchi, des anticlinaux dans les Schistes renferment, d'après ce même auteur, des fossiles tels que *Pleurotomaria solitaria*, espèce caractéristique, dans toute la province alpine, du Trias le plus élevé. Les Schistes lustrés forment, dans le géosynclinal piémontais, le pendant du Lias schisteux déposé dans le géosynclinal dauphinois (III, 8). Dans le géanticlinal intermédiaire, le Lias présente, d'après les observations de M. Kilian, un faciès bréchoïde et coralligène.

Il est possible toutefois que la partie supérieure des Schistes lustrés soit éocène ou oligocène, comme c'est le cas dans leur prolongement vers l'est, où ils sont connus sous le nom de schistes des Grisons. Dans le Briançonnais et dans l'Embrunais, il existe d'ailleurs des schistes éocènes tout à fait analogues (III, 37, 1897). On ne trouve plus aucune trace, à l'époque nummulitique, du géanticlinal briançonnais et les deux géosynclinaux ont dû de nouveau se confondre en un géosynclinal unique, dont la partie la plus profonde était située un peu à l'ouest de l'ancien géanticlinal.

Je me suis préoccupé aussi de reconstituer les limites des faciès des terrains secondaires dans les Alpes suisses (III, 8, III, 28); mais je suis parti, dans mes essais, de l'idée que les Préalpes étaient en place. Comme elles sont certainement charriées, la position respective des zones de sédimentation se trouve renversée, de sorte que tout le travail est à reprendre.

J'ai cependant montré que les arguments stratigraphiques sur lesquels M. Hans Schardt avait basé son hypothèse du charriage des Préalpes reposaient sur des faits mal interprétés, de sorte qu'ils ne peuvent être invoqués comme preuves. J'ai été amené à opposer à l'argumentation de M. Schardt trois propositions inverses de celles qu'avait formulées ce géologue et qui sont les suivantes (III, 28) :

1° Le contraste que présentent les terrains des Préalpes et ceux de même âge des Hautes Chaînes calcaires à leur contact est beaucoup moins frappant qu'on ne l'avait prétendu; il comporte de nombreuses exceptions et s'explique aisément par la comparaison avec des cas analogues, dans lesquels il ne peut être question de charriage lointain;

2° On constate, dans la zone centrale ou méridionale des Alpes, l'absence de presque tous les terrains sédimentaires des Préalpes et, réciproquement,

dans les Préalpes, l'absence des sédiments les plus caractéristiques du versant méridional des Alpes;

3º Un très grand nombre de sédiments identiques ou semblables à ceux des Préalpes existent en place sur le versant occidental et septentrional des Alpes et même dans le Jura.

J'ai démontré ces trois propositions en soumettant à une revision complète les documents stratigraphiques que nous possédons actuellement sur les terrains secondaires des deux versants des Alpes occidentales. Les découvertes de M. Lugeon dans le massif du Wildstrubel sont venues en démontrer l'exactitude, car, dans ce massif, qui appartient aux Hautes Chaînes calcaires, se trouvent les racines de la zone interne des Préalpes, avec les mêmes faciès. La zone des Préalpes médianes elle-même a ses racines sur le versant nord de la chaîne, ainsi que je le montrerai plns loin.

Rôle des géosynclinaux. — Les auteurs américains, auxquels est due la notion du géosynclinal, ont souvent insisté sur le caractère littoral ou tout au moins peu profond des sédiments accumulés dans ces plis concaves de l'écorce terrestre, sur l'emplacement desquels prennent naissance les zones de plissement. M. Suess faisait, par contre, dès 1875, la constatation suivante, qui semble à première vue en contradiction formelle avec les vues des géologues américains : dans les régions plissées, la série sédimentaire est généralement complète et possède un caractère « pélagique »; dans les régions tranquilles, elle présente souvent des lacunes ou des intercalations de dépôts saumâtres. La contradiction est encore aggravée par l'attribution, par certains auteurs allemands et autrichiens, des dépôts secondaires de la région alpine aux formations abyssales.

Mes études dans les Alpes occidentales m'ont permis de démontrer que, dans la majorité des cas, les sédiments accumulés dans les géosynclinaux sont en réalité, non pas des formations abyssales, mais des formations bathyales, formées vraisemblablement dans une zone bathymétrique comprise entre 200 et 1000 mètres (II, 11). Les considérations tirées de la répartition des Ammonites viennent à l'appui de cette manière de voir.

Contrairement à l'opinion régnante, qui envisage ces Mollusques comme des animaux bons nageurs, vivant à la surface de la mer, à la manière de l'Argonaute, en un mot pélagiques, j'ai admis qu'ils devaient vivre dans le voisinage du fond, comme la Spirule et le Nautile. A part les cas, plutôt rares, où leurs coquilles flottaient après la mort de l'animal et se trouvaient charriées dans les régions littorales par les courants de surface, il semble bien que les Ammonites aient vécu sur les fonds vaseux, là même où nous trouvons actuellement leurs coquilles. Le bel état de conservation du péristome et des

ornements les plus délicats se comprend mal dans l'hypothèse d'un flottage. On ne peut, d'autre part, expliquer l'association, en un même point, de nombreuses variations individuelles et d'individus de tout âge d'une même espèce, qu'en admettant leur vie collective dans le voisinage du fond. Les Bélemnites et les Nautiles paraissent avoir vécu en général à des profondeurs moindres que les Ammonites. On les rencontre fréquemment avec des fossiles caractéristiques de la zone néritique. Parmi les différents genres d'Ammonites, les uns, comme *Trachyceras*, *Reineckeia*, *Hoplites*, etc., étaient vraisemblablement eurythermes, c'est-à-dire qu'ils supportaient d'assez grandes variations de température, et pouvaient vivre à des profondeurs variables, tandis que d'autres, en particulier *Phylloceras* et *Lytoceras*, étaient sténothermes, se trouvaient liés à une température constante et ne pouvaient, par conséquent, vivre que dans la zone bathyale; ils caractérisent les parties profondes des géosynclinaux, tandis que dans les parties moins profondes, sublittorales, vivaient exclusivement les genres eurythermes. Ainsi s'explique le contraste entre la « province de l'Europe centrale » et la « province méditerranéenne », de Neumayr, qui, en réalité, correspondent à la zone néritique et à la zone bathyale d'une même province zoologique. La localisation de certains genres d'Ammonites dans les régions centrales et d'autres genres dans les régions périphériques du bassin du Rhône trouve ainsi tout naturellement son explication.

Les chaînes de montagnes se forment sur l'emplacement des géosynclinaux ; mais, de plus, chacune des phases orogéniques que l'on peut distinguer dans l'histoire d'une chaîne est précédée par une période pendant laquelle de grandes masses de sédiments s'accumulaient dans un géosynclinal. J'ai montré que les emplacements de ces géosynclinaux successifs ne coïncident pas nécessairement. Dans beaucoup de cas, l'axe se déplace parallèlement à lui-même, à mesure que des plissements prennent naissance dans l'ancienne région axiale. Dans les Alpes occidentales le géosynclinal est ainsi refoulé graduellement vers l'ouest, vers le pied de la chaîne. Les grandes fosses marginales qui bordent les continents actuels peuvent être assimilés à des géosynclinaux bordant les chaînes tertiaires. Cette interprétation s'impose en particulier pour le Pacifique, dont les fosses périphériques ne seraient autre chose que le géosynclinal actuel, refoulé sur le bord de la zone plissée qui fait le tour complet de cet océan.

Il est encore des cas où la direction de l'axe du nouveau géosynclinal est totalement différente de celle des plissements antérieurs. Ainsi le géosynclinal des terrains secondaires et tertiaires d'Andalousie et les plis correspondants qui constituent la chaîne Bétique ont leurs axes dirigés à peu près W.S.W.-E.N.E., tandis qu'au-delà du Guadalquivir, les plis anciens de la Meseta sont dirigés N.W.-S.E. et semblent plonger sous la chaîne Bétique,

pour reparaître au-delà de l'Atlas, dans la région paléozoïque du Sud oranais, avec la même direction, attestant l'existence d'un géosynclinal dévonien.

Les auteurs américains ont toujours basé leurs théories orogéniques sur l'idée fondamentale que les chaînes de montagnes se forment sur le bord des océans et que les continents s'accroissent par l'adjonction de chaînes nouvelles, de plus en plus récentes. Dans cette hypothèse, les géosynclinaux prendraient naissance à la limite des continents et des océans, les sédiments qui s'y accumulent seraient exclusivement littoraux et la zone d'affaissement, où s'opère la sédimentation intensive, serait séparée de la haute mer par un simple bourrelet.

Si l'on n'envisageait que les faits que je viens de signaler sur le pourtour du Pacifique, il pourrait sembler que cette interprétation soit fondée, mais, en réalité, elle ne correspond pas à une loi générale. J'ai montré (II, 11), par contre, que, loin de prendre naissance sur le bord des océans, les géosynclinaux sont, dans la plupart des cas, situés entre deux masses continentales et constituent des zones essentiellement mobiles de l'écorce terrestre, comprises entre deux masses relativement stables.

J'ai cité, à l'appui de ma manière de voir, l'Himalaya, dont l'emplacement correspond à un vaste géosynclinal, avec une épaisseur immense de sédiments. Ni au Paléozoïque, ni au Secondaire, les dépôts n'y présentent un caractère littoral et, à aucun moment, cette région ne s'est trouvée sur le bord d'un grand océan. Le géosynclinal himalayen a toujours été limité au sud par une région stable, l'Inde péninsulaire, fragment d'un ancien continent beaucoup plus étendu.

De même, le géosynclinal de l'Europe centrale, pris dans son ensemble, était situé entre le continent nordatlantique et le continent africain. Le géosynclinal des Pyrénées s'est trouvé écrasé entre le Massif Central de la France et la Meseta ibérique. En Amérique même, les Appalaches se sont formées sur l'emplacement d'un géosynclinal, limité au sud-est et au nord-ouest par des massifs très anciens.

Les géosynclinaux circumpacifiques ne peuvent plus, dès lors, être invoqués comme argument à l'appui d'une loi générale; ils constituent plutôt une exception, au moins apparente, dont je donnerai plus loin l'explication.

En résumé : *Les géosynclinaux, régions essentiellement mobiles de l'écorce terrestre, sont toujours situés entre deux masses continentales. Ils constituent, avant leur comblement, des dépressions marines d'une profondeur assez considérable. Les aires continentales sont, par contre, des régions surélevées, relativement stables, exondées ou envahies temporairement par des mers peu profondes.*

Partant de ces principes, j'ai cherché à fixer, sur la sphère terrestre,

l'emplacement des géosynclinaux aux grandes époques de l'histoire géologique du Globe (II, 11). J'ai d'abord déterminé la position des géosynclinaux qui existaient aux temps secondaires, puisque les documents sur l'extension des mers à cette époque sont beaucoup plus complets que ceux que nous possédons pour les autres phases de l'histoire de la Terre. Mon essai a abouti à la construction d'une carte, sur laquelle j'ai tenté de représenter les anciens continents de l'ère secondaire et le tracé des géosynclinaux qui les entourent.

J'ai montré ensuite qu'aux temps paléozoïques l'emplacement des principaux géosynclinaux ne différait pas beaucoup de leur emplacement aux périodes ultérieures. J'ai terminé mon étude en établissant que partout les grands plissements de la fin de l'ère tertiaire ont été précédés, au début de la période, par une phase de sédimentation extrêmement intense, comparable à celle dont on a reconnu depuis longtemps l'existence dans la chaîne des Alpes.

Si, dans certains cas, j'ai pu constater que les sinuosités décrites par les géosynclinaux n'ont pas toujours été les mêmes à deux époques consécutives et que les géosynclinaux sont allés en se rétrécissant graduellement, il n'en est pas moins vrai que ce sont toujours les mêmes grandes zones qui, depuis le début des temps primaires, ont été les parties mobiles de l'écorce terrestre.

Lois des transgressions et des régressions marines. — Il est peu de questions qui ont autant préoccupé les géologues, en particulier dans ces vingt dernières années, que celle des causes des déplacements des lignes de rivages. Deux doctrines se trouvent encore aujourd'hui en présence : 1° celle qui explique ces déplacements par des oscillations verticales de la terre ferme ou par des mouvements du sol, quels qu'ils soient; 2° celle qui a recours, pour expliquer les mêmes phénomènes, à des mouvements propres de la nappe océanique.

Certains partisans des oscillations du niveau des mers ont fait intervenir l'attraction qu'exercent sur la masse océanique les glaces polaires. Ils ont admis que le phénomène de la précession des équinoxes déterminait des périodes glaciaires alternativement dans les deux hémisphères et que, par suite, l'afflux des eaux devait se produire alternativement vers chacun des pôles. Dans cette hypothèse, les transgressions marines devraient être localisées soit dans l'hémisphère nord, soit dans l'hémisphère sud.

On a voulu faire intervenir des variations dans la vitesse de rotation de la Terre. Ces variations détermineraient tantôt un transport de la masse liquide vers l'équateur de l'ellipsoïde de rotation, tantôt un reflux vers les

pôles. Les transgressions seraient donc localisées tantôt aux régions équatoriales, tantôt aux régions polaires.

M. Suess et son école attribuent un rôle considérable aux mouvements eustatiques, qui entraîneraient des transgressions ou des régressions marines d'un caractère universel.

En réunissant sur ces phénomènes autant de documents stratigraphiques qu'il m'a été possible, je suis arrivé (II, 11) à des résultats exactement contraires à ceux qu'exigerait chacune des théories mises en avant par les partisans des mouvements propres du niveau des mers, résultats que j'ai résumés de la manière suivante :

Les principales transgressions marines se produisent simultanément dans les deux hémisphères ;

Elles ont lieu simultanément dans les régions polaires et dans les régions équatoriales ;

Elles ne sont pas universelles.

J'ai été conduit, d'autre part, à des résultats positifs, qui m'ont permis de formuler la loi suivante :

Toutes les fois qu'un terme déterminé de la série sédimentaire se présentera en transgression sur les aires continentales, le même terme sera en régression dans les géosynclinaux ;

Et réciproquement,

Toutes les fois qu'un terme se présentera en transgression dans les géosynclinaux, il sera en régression sur les aires continentales.

Ce qui revient à dire que les transgressions sur les aires continentales sont compensées par les régressions dans les géosynclinaux, et vice-versa.

Il est évident que cette conclusion est inconciliable avec toutes les hypothèses cosmiques ou telluriques qui supposent des mouvements propres de la nappe océanique. En revanche, elle s'accorde fort bien avec l'hypothèse d'oscillations de la terre ferme qui seraient en relation avec les mouvements orogéniques.

Hébert et son école avaient fait ressortir depuis longtemps le contraste qui existe entre la série sédimentaire du Nord de l'Europe et celle du Midi, contraste qui se traduit par le fait que les lacunes dans l'une des régions sont comblées par un terme qui existe dans l'autre. M. de Grossouvre et M. Frech avaient signalé des contrastes analogues entre certaines aires de la surface du Globe. Dès 1898 (II, 9), j'ai insisté sur l'opposition qui existe entre la transgression du Portlandien dans les régions qui ont été affectées par les plissements alpins et sa régression sur les masses continentales. J'ajoutais que la compensation entre les deux phénomènes me paraissait présenter un caractère universel.

En 1900 (II, 11), je formulais la loi et je démontrais sa généralité par un grand nombre d'exemples empruntés à toute la succession des terrains. Je mentionnerai, parmi les termes de la série géologique qui sont transgressifs sur les aires continentales et régressifs dans les géosynclinaux : le Cambrien supérieur, le Gothlandien, le Carbonifère inférieur, le Trias moyen, le Jurassique moyen (maximum au Callovien), le Crétacé moyen, l'Éocène inférieur, le Miocène supérieur.

Les termes suivants correspondent, par contre, à un retour de la mer dans les géosynclinaux, à un retrait sur les aires continentales : l'Ordovicien, le Dévonien moyen, l'Ouralien, le Trias supérieur, l'Oxfordien, le Portlandien, le Sénonien, le Tongrien (Oligocène inférieur), le Miocène inférieur.

La loi des transgressions et des régressions est devenue le fil conducteur dans mon enseignement stratigraphique. Grâce à ces généralisations, l'étude de la répartition géographique des terrains cesse d'être, pour l'élève, une énumération fastidieuse et acquiert un intérêt tout à fait général.

III. — TECTONIQUE ET GÉOLOGIE RÉGIONALE

1. Ueber die geologischen Verhältnisse der Umgegend von Niederbronn. *Ber. über die XIX. Versammlung des Oberrhein. geol. Vereins*, 7 p., 1886.
2. Sur le pli-faille de Mouthier-Haute-Pierre (Doubs) (en collaboration avec M. Kilian). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 16 nov. 1891.
3. Sur la formation de la vallée de l'Arve. *C. R. Ac. Sc.*, 21 nov. 1892.
4. Sur la continuation vers le sud des plis de la Dent du Midi. *C. R. séances Soc. Géol. Fr.*, 19 déc. 1892.
5. Les régions naturelles des Alpes. *Annales de Géographie*, 3e ann., p. 150-172, 1 carte. Paris, 1894.
6. Les zones tectoniques des Alpes de Suisse et de Savoie. *C. R. Ac. Sc.* et *C. R. séances Soc. Géol. Fr.*, 19 mars 1894.
7. Article Jura. *Dictionn. géogr. et admin. de la France*, de P. Joanne, 73e livr., p. 2001-2008. Paris, 1894.
8. L'origine des Préalpes romandes et les zones de sédimentation des Alpes de Suisse et de Savoie. *Arch. Sc. phys. et nat.*, 3e pér., t. XXXII, n° 8, 20 p. Genève, 1894.
9. Excursion géologique dans la haute vallée du Drac. *C. R. séances Soc. Géol.*, 5 nov. 1894.
10. Les lambeaux de recouvrement de l'Ubaye (en collab. avec M. Kilian). *C. R. Ac. Sc.*, 31 déc. 1894.
11. Communication préliminaire sur le synclinal de Serraval et la montagne de Sulens (en collab. avec M. Lugeon). *C. R. séances Soc. Géol. Fr.*, 4 février 1895.
12. De la coexistence, dans le bassin de la Durance, de deux systèmes de plis conjugués, d'âge différent. *C. R. Ac. Sc.*, 17 juin 1895.
13. Sur les Hautes Chaînes calcaires de Suisse. *C. R. séances Soc. Géol. Fr.*, 24 juin 1895.
14. Études sur la tectonique des Hautes Chaînes calcaires de Savoie. *Bull. Serv. Carte Géol.*, n° 47, 92 p., 6 pl., Paris, 1895.

15. Contribution à l'étude des lignes directrices de la Chaîne des Alpes. *Annales de Géographie*, 5e année, p. 167-178, 1 carte. Paris, 1896.
16. Observations sur la division des Alpes occidentales en zones et sur certains points de la tectonique des zones externes. *Bull. Soe. Géol. Fr.*, 3e sér., t. XXIV, p. 34-38, Paris, 1896.
17. Sur les plis à déversement périphérique. *Ibid.*, 3e sér., t. XXIV, p. 39-41. Paris, 1896.
18. Sur les dômes liasiques du Zaghouan et du Bou-Kournin (en collab. avec M. E. Ficheur). *C. R. Ac. Sc.*, 8 juin 1896.
19. Études sur la tectonique des Alpes suisses. 1re partie. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 3e sér., t. XXIV, p. 535-594, 1 carte pl. XXIII. Paris, 1896.
20. Géologie de la Tunisie. *Revue génér. des Sciences*, t. VIII, p. 1047-1057. 30 nov. 1896.
21. Note préliminaire sur la géologie de la montagne de Sulens et de son soubassement (en collab. avec M. Lugeon). *Bull. Soc. Hist. Nat. de Savoie*, 2e série, t. III, p. 246-261. Chambéry, 1897.
22. Le problème des Préalpes. *Revue génér. des Sciences*, t. IX, p. 699-705. 15 sept. 1897.
23. Notice géologique sur la vallée de Barcelonnette (en collab. avec M. Kilian). *Soc. Botan. de Fr., Notices sur la Haute Vallée de l'Ubaye*, 8 p., 1 carte. Montpellier, 1897.
24. Sur quelques points théoriques relatifs à la géologie de la Tunisie. *Assoc. fr. pour l'avanc. des Sciences*, Congrès de Saint-Etienne, p. 366-376. Paris, 1898.
25. Sur l'origine des nappes de recouvrement de la région de l'Ubaye (en collab. avec M. Kilian). *C. R. Ac. Sc.*, 14 févr. 1898.
26. Notice explicative de la feuille Digne de la carte géologique détaillée de la France (en collab. avec M. Kilian). *Bull. Soc. de Statist. de l'Isère.* 22 p. Grenoble, 1898.
27. Sur le bord externe du Briançonnais entre Freyssinières et Vars (en collab. avec M. Kilian). *C. R. Ac. Sc.*, 7 août 1899.
28. Les régions dites exotiques du versant nord des Alpes Suisses, réponse au Dr Hans Schardt. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, vol. XXXV, p. 114-161. Lausanne, 1899.
29. Environs de Digne et de Sisteron. *Livret-guide publié par le Comité d'organisation du VIIIe Congrès géologique international*, XII b, 28 p. Paris, 1900.
30. Géologie de la Sicile. *La Revue générale des Sciences en Sicile, guide du savant et du touriste*, p. 22-39. Paris, 1901.

31. Sur le pli couché des Diablerets. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 4e sér., t. I, p. 596-597. Paris, 1901.
32. Sur la découverte d'un nouveau massif granitique dans la vallée de l'Arve, entre Servoz et les Houches (en collab. avee MM. Lugeon et Corbin). *C. R. Ac. Sc.*, 29 déc. 1902.
33. Les grands charriages de l'Emhrunais et de l'Ubaye. Conférence faite à Vienne, dans la séance du 24 Août 1903 du IXe Congrès géologique international. *Revue génér. des Sciences*, 30 déc. 1903.
34. Sur les racines des nappes de charriage dans la chaîne des Alpes (en préparation).
35. Nouvelles observations sur les granites posthouillers du massif du Prarion (en collab. avec MM. Lugeon et Corbin) (en préparation).
36. Sur l'existence, dans le Salzkammergut, de quatre nappes de charriage superposées (en collab. avec M. Lugeon) (en préparation).
37. Rapports annuels dans les « Comptes-rendus des collaborateurs ». *Bull. Serv. Carte géol.*, passim, Paris, 1893-1903.

Voir aussi : II, 2, 6, 11 ; IV, V, 5, 6, 8.

TRAVAUX ANALYTIQUES

Environs de Niederbronn (Alsace). — L'étude détaillée des environs de Niederbronn, prolongée pendant plusieurs années, m'a révélé un certain nombre de faits tectoniques nouveaux, sur lesquels je n'ai publié qu'une courte note (III, 1), l'achèvement de mon travail ayant été rendu impossible par mon départ de l'Alsace.

Les collines sous-vosgiennes des environs de Niederbronn peuvent compter parmi les régions les plus disloquées de l'Europe centrale. Tandis que, plus au sud, la limite entre le « Horst » des Vosges et la plaine est très brusque, ici la grande faille qui délimite la vallée du Rhin est remplacée par un grand nombre de fractures déterminant une chute en escalier des divers compartiments. Dans cette chute plusieurs paquets de couches sont restés en saillie, formant des « Horst » en miniature, tel que le pointement de Grès Bigarré de Niederbronn. Le morcellement est particulièrement intense là où le bord de la région montagneuse forme des angles rentrants, c'est là aussi que sont localisés les affleurements de Grès Bigarré et de Muschelkalk, tandis que, lorsque ce bord décrit une ligne convexe, ce sont des couches plus récentes, triasiques supérieures ou lia-

siques, qui entrent directement en contact par faille avec le Grès Vosgien.

L'ensemble de la région fait partie de ce que l'on a appelé la « baie de Saverne ». J'ai pu en préciser la limite orientale, c'est une grande fracture, d'ailleurs presque entièrement cachée par les dépots pléistocènes, qui relie le bord externe du « Horst » du Hochwald, au nord de Woerth, aux collines de Molsheim et qui détermine la limite occidentale des dépôts oligocènes pétrolifères.

Jura franc-comtois (en collaboration avec M. Kilian). — Les plis droits ou les failles verticales jouent, dans le Jura, suivant les régions, un rôle prédominant. Les plis déversés et les plis-failles sont, en général, localisés aux deux extrémités de la chaîne ; M. Kilian et moi, dans des courses consacrées au levé de la feuille géologique d'Ornans, nous avons été les premiers à signaler, dès 1891, cette catégorie d'accidents dans le Jura franc-comtois (I, 2). La faille de Mouthier, mentionnée déjà par Résal, est en réalité un pli-faille, le long duquel les termes moyens du Jurassique sont refoulés sur le Portlandien. Les couches de cet étage forment les deux flancs d'un synclinal, inclinés, de même que le plan axial, dans le même sens que la faille, c'est-à-dire vers l'intérieur de la chaîne. Le noyau du synclinal est formé par des couches crétacées fossilifères. Les couches refoulées sur le synclinal présentent elles-mêmes une courbure correspondant à une charnière anticlinale. Il n'y a donc aucun doute au sujet de l'interprétation de la faille de Mouthier comme un pli-faille. Du reste, cet accident peut être suivi sur une certaine longueur, séparant nettement deux régions très distinctes du Jura, le « Jura des Plateaux » et le « Jura des Chaînes ».

Tyrol méridional. — Un voyage dans les « Dolomies » du Tyrol méridional, en 1886, entrepris dans le but d'étudier les témoins de Néocomien laissés par l'érosion sur les plateaux triasiques et jurassiques, m'a donné aussi l'occasion d'étudier quelques-unes des dislocations qui ont affecté les massifs montagneux entourant les vallées d'Abtei et d'Ampezzo (II, 2).

Les auteurs qui avaient exploré la région l'avaient décrite comme une région faillée ; j'ai pu démontrer que les plissements y jouaient aussi un certain rôle.

Sur l'Alpe Puez, les dépôts néocomiens ont précisément échappé à l'ablation générale parce qu'ils occupaient le fond de synclinaux couchés et que les couches triasiques, en partie conservées, du flanc inverse les ont préservés de la destruction. Sur cinq des buttes-témoins crétacées qui ont été ainsi épargnées, trois portent encore des restes de Dachstein-Kalk renversé et étiré. Sur l'une des trois, il n'existe plus qu'un très gros bloc de ce calcaire triasique, posé sur les marnes néocomiennes et constituant par conséquent un véritable lambeau de recou-

vrement. Les couches du Crétacé inférieur décrivent des replis secondaires dans la partie largement ouverte du synclinal; dans le flanc normal, les fossiles sont assez bien conservés, tandis que, dans le flanc inverse, qui est fortement laminé, et, dans la partie pincée des replis synclinaux, ils sont tout à fait déformés et écrasés, de même que les nodules de silex.

C'était la première fois que l'on signalait dans les Alpes méridionales l'existence de plis à flanc inverse étiré et ce n'est que quelques mois auparavant que M. Marcel Bertrand avait fait connaître les exemples de lambeaux de recouvrement du Beausset, devenus classiques.

Région entre Gap et Digne. — Quelques années plus tard, je décrivais également des phénomènes de recouvrement dans les Alpes françaises. J'avais abordé l'étude de la région, presque inconnue au point de vue géologique, située entre Gap et Digne et je consacrais un chapitre spécial à sa tectonique dans ma thèse de doctorat (II,6). Depuis, j'ai continué mes recherches et j'ai publié successivement deux notes (III,12 ; III,29) sur les nouveaux résultats obtenus. Le travail complet que je compte faire paraître sur la tectonique de la région n'est pas encore achevé. Les montagnes entre Gap et Digne participent à la fois des Chaînes Subalpines et des Chaînes Alpines, le contact des deux systèmes de plissements est particulièrement intéressant à étudier.

Les Chaînes Subalpines ont ici une direction W.-E. ou W.S.W.-E.N.E. et constituent ce que l'on a appelé la zone du Diois. Elles franchissent la Durance et leur terminaison orientale pénètre profondément dans un ensemble de montagnes de structure très compliquée, où prédomine la direction N.W.-S.E. et qui comprend deux régions naturelles bien distinctes, le Gapençais et la Haute-Provence, appartenant à la zone delphino-provençale.

Les deux systèmes de plis conjugués qui se pénètrent ne sont pas de même âge. Si, en effet, on reconstitue les bandes anticlinales et les bandes synclinales dans le substratum des couches oligocènes discordantes, on reconnaît que ces bandes, grossièrement parallèles entre elles, possèdent la même direction que les plis du Diois et que ceux-ci ne sont que l'exagération de plis antéoligocènes. Le dessin des plis conjugués N.W. - S.E. date, par contre, exclusivement de la fin du Miocène, mais il a subi, sur le bord externe de la zone delphino-provençale, une déformation considérable, du fait de l'existence des plis antéoligocènes. Ces plis sont tous déversés vers l'extérieur de la chaîne, ils sont presque tous dissymétriques, le flanc inverse étant généralement fortement étiré et manquant souvent entièrement. Dans ce cas, la même série de couches se répète plusieurs fois et chaque succession est séparée de la suivante par un pli-faille. C'est la disposition décrite d'abord par Bittner et à laquelle M. Suess a donné

le nom de structure imbriquée (« Schuppen-Structur »). Je crois être le premier à l'avoir signalée en France; depuis, des exemples de ce type de dislocation ont été retrouvés par divers auteurs dans les Alpes, dans les Pyrénées, dans la Montagne-Noire, etc.

Quelques-uns des plis-failles de la région au nord de Digne se traduisent par des recouvrements assez étendus, donnant lieu à de véritables discordances mécaniques. De tels accidents existent indifféremment dans les deux systèmes de plissement. A Tanaron les plis du système W.-E. s'enfoncent sous une surface de recouvrement du système N.W.-S.E., ils ont d'ailleurs eux-mêmes suhi des refoulements venant à la fois du nord et du sud et se traduisant par des chevauchements dans les deux directions opposées. Un synclinal de couches oligocènes et miocènes, orienté W.-E. s'est ainsi trouvé chevauché de trois côtés à la fois et c'est grâce à cette circonstance exceptionnelle que son noyau a été préservé de la destruction.

Dans plusieurs cas les lignes de contact anormal du système N.W.-S.E. s'arrêtent brusquement à l'approche des anticlinaux du système antéoligocène W.-E.; dans d'autres cas, elles sont déviées et leur prolongement épouse la direction du pli ancien, de sorte qu'elles décrivent des courbes festonnées, dont les rebroussements coïncident avec l'axe des anticlinaux antéoligocènes. Les convexités des lignes de contact anormal correspondent, par contre, aux bandes synclinales.

La région entre Digne et Gap présente des conditions tout-à-fait uniques pour étudier la superposition de deux systèmes de plissements consécutifs et de direction différente.

J'y ai signalé aussi des exemples typiques de dômes et de cuvettes à contours elliptiques et plongements périclinaux. Dans les dômes, la série des couches est particulièrement réduite en épaisseur et on y observe même des lacunes, dnes tantôt à des interruptions dans le phénomène de sédimentation, tantôt à de simples étirements. Dans les cuvettes, par contre, la série des dépôts est en général plus épaisse que dans le voisinage.

Environs de Tunis (en collaboration avec M. Emile Ficheur). — J'intercale ici les observations que j'ai faites en compagnie de M. Ficheur dans les environs de Tunis (III, 18), à cause des analogies frappantes que présentent les dômes liasiques du Bou-Kournin et du Zaghouan avec ceux des Basses-Alpes.

Les calcaires liasiques des environs de Tunis, qui renferment des Bélemnites et *Pygope Aspasia*, supportent immédiatement les marnes grumeleuses rouges de l'Oxfordien, auxquelles font snite les calcaires tithoniques. Le Néocomien transgressif repose indifféremment sur le Lias, sur l'Oxfordien ou

sur le Tithonique. Ces faits stratigraphiques montrent que les emplacements correspondant aux affleurements liasiques actuels présentaient, dès l'époque secondaire, une grande mobilité, qui les prédestinait à la formation de dômes.

Quelques-uns de ces dômes, comme le Bou-Kournin et le Djebel Oust, présentent une grande simplicité et des contours régulièrement elliptiques ou circulaires. Le massif du Zaghouan est plus compliqué. Il se compose d'un certain nombre de dômes secondaires plus ou moins indépendants, pressés les uns contre les autres, mais dont l'ensemble se comporte comme un dôme unique. Le Kef el Blidah est séparé du massif principal par un synclinal oxfordien et possède ainsi une certaine individualité. Les cinq ou six digitations à plongement périclinal de l'extrémité sud-ouest sont autant de dômes secondaires, séparés par des synclinaux effilés de couches néocomiennes, qui ont en partie joué par failles les uns par rapport aux autres, en raison de la grande rigidité des calcaires liasiques. De même, une grande fracture, connue sous le nom de faille du Zaghouan, s'est produite sur le bord sud-est de la montagne, mettant en contact brutal le Lias et l'Éocène supérieur. Elle est due à une rupture lors de la surrection du dôme et non pas à un tassement, comme les failles proprement dites. On doit l'envisager comme un accident purement local et non comme « le trait orographique le plus net de la Tunisie ».

Chaîne des Aravis (Haute-Savoie). — Entre le seuil de Mégève et le synclinal du Reposoir se trouve une chaîne calcaire aux cîmes hardies, connue généralement sous le nom d'Aravis, qui convient mieux au principal col qui la franchit. Chargé du tracé des contours géologiques de cette grande arête, je me suis attaché surtout à en étudier les accidents tectoniques (III, 14). Il s'agissait en somme surtout de suivre vers le sud-ouest l'anticlinal couché de la cascade d'Arpenaz, vaste pli des calcaires jurassiques supérieurs, dont tous les touristes admirent la courbure élégante.

J'ai constaté que le pli du Jurassique supérieur n'est conservé que sur une étendue restreinte, et que, sur la plus grande partie de sa longueur, il a été entièrement détruit par les agents atmosphériques. Ailleurs, c'est le pli du Jurassique moyen qui est conservé ; j'en ai figuré les contournements à la Croix Baulet (2236^{m}). D'autre part, j'ai établi que la Pointe Dareu (2468^{m}) est formée par un grand pli couché d'Urgonien, avec noyau hauterivien.

J'ai suivi aussi le pli d'Arpenaz vers le nord-est. Il forme, au sud de Sixt, l'anticlinal des Faucilles du Chantet et se continue dans le massif du Grenairon. Au-delà du col d'Émaney, l'érosion n'en a plus laissé subsister aucune trace. Le pli de la Dent du Midi n'est donc pas, comme l'avaient cru Alphonse Favre, M. Hollande et Maillard, le prolongement du pli

d'Arpenaz. J'ai pu établir de même, en suivant pas à pas, dans la chaîne de Belle-Étoile, la racine de l'anticlinal d'Arpenaz et le synclinal situé en avant, que cette importante ligne directrice des Hautes Chaînes calcaires de Savoie s'arrête au col de Tamié, près Albertville; car, plus au sud, la dénudation a entièrement enlevé, sur le bord ouest du massif de Belledonne, toutes les couches des terrains postérieurs au Bajocien et tous les plis des terrains antérieurs.

Un des faits les plus curieux qui résultent de l'examen de mes coupes transversales de la chaîne des Aravis, c'est la non-superposition des plis qui ont affecté les couches calcaires successives, de sorte que leur surface axiale commune serait fortement ondulée. Les plis de l'Urgonien, du Jurassique supérieur et du Bajocien diffèrent également d'intensité et de style; c'est là le type d'un plissement *disharmonique*. Je l'ai attribué à des différences de résistance des couches successives et surtout au fait que chaque masse de calcaire est séparée de la masse sous-jacente par des couches marneuses ou argileuses formant entre elles un matelas isolant. La plus grande intensité, qui caractérise les plis les plus profonds, s'explique en outre fort bien par une plus grande plasticité des couches, résultant de la forte charge qu'elles supportent.

J'ai étudié aussi les accidents transversaux qui affectent la région. J'ai montré notamment que le pli d'Arpenaz est coupé par une faille de tassement parallèle à la vallée de l'Arve, analogue à celles de la Frasse et de la Colonnaz, qui coupent des plis plus extérieurs. Il en est résulté l'apparence de deux anticlinaux superposés. J'ai attribué à ces failles un certain rôle dans la formation de la vallée de l'Arve entre Cluses et Sallanches (III, 3; III, 14).

Synclinal du Reposoir et « Klippes » des Annes et de Sulens (en collaboration avec M. Maurice Lugeon). — Entre la chaîne des Aravis, à l'est, et celle des Vergys et de la Tournette, à l'ouest, s'étend en forme de croissant le synclinal du Reposoir, large dépression de Flysch, au milieu de laquelle s'élèvent deux montagnes isolées, les Annes (2265^{m}) et Sulens (1849^{m}), constituées par des couches triasiques, liasiques et bajociennes.

Ce sont de véritables masses exotiques, des « Klippes », dont le caractère étrange est encore accentué par le fait que le faciès de leurs terrains diffère complètement du faciès des terrains de même âge qui affleurent à proximité, au pied est de la chaîne des Aravis. Entre les deux sommets s'étend, comme une barre oblique coupant en deux le synclinal du Reposoir, l'anticlinal urgonien de la Clusaz.

Tandis que M. Lugeon envisageait les deux « Klippes » comme des lambeaux

de recouvrement appartenant à la même nappe que la masse principale des Préalpes romandes et provenant, comme celle-ci, d'un charriage lointain, j'avais cherché à expliquer les particularités tectoniques des deux montagnes par l'hypothèse de plissements anténummulitiques et d'une surrection du noyau liasique, sur l'emplacement de ces plissements, sous l'action de poussées périphériques (III, 11). La disposition en éventail composé imbriqué, qui existe réellement dans le soubassement de Sulens et dans les deux flancs du synclinal de Serraval, rendait assez vraisemblable cette interprétation. Dans le but de nous mettre d'accord sur la solution de ce problème de tectonique, nous résolûmes, M. Lugeon et moi, d'entreprendre en collaboration l'étude détaillée et le levé géologique au 1/50000 du synclinal de Serraval et des deux « Klippes ». Nous espérons être en mesure de publier, dans un avenir assez rapproché, une monographie de cette partie des Alpes de Savoie. Nous avons exposé, en attendant, dans une note préliminaire (III, 21), le résultat de nos courses communes de 1895-1896 dans le soubassement de la montagne de Sulens. Nous avons reconnu que les couches jurassiques et crétacées, dont les affleurements forment, dans ce soubassement, comme des auréoles concentriques autour de la masse centrale triasique et liasique, sont sans racine en profondeur et appartiennent à deux ou trois nappes charriées superposées, plissées ultérieurement, avec le substratum de couches autochtones, en synclinal et en éventail composé, comme pourraient l'être des couches concordantes en superposition normale. Il est évident dès lors que la masse centrale est également charriée.

La nappe inférieure comprend des marnes calloviennes, des calcaires du Jurassique supérieur et des marnes valanginiennes, qui ne diffèrent guère des couches de même âge du substratum autochtone; en revanche, le Néocomien à Céphalopodes qui leur fait suite est identique à celui des Préalpes. Ces couches forment une lame discontinue sur tout le pourtour du soubassement; sur le bord sud nous y avons observé des charnières indiquant une poussée vers l'extérieur des Alpes; sur le front de la nappe, à l'ouest, se voient d'extraordinaires imbrications et, au contact du Flysch, des brèches de dislocation.

Entre cette nappe inférieure du soubassement et la masse du Sulens, il existe encore plusieurs lames, qui affleurent au milieu du Flysch et appartiennent à une ou deux nappes indépendantes. Elles sont constituées par du Malm, par du Sénonien et par un conglomérat polygénique éocène.

Le lambeau de recouvrement du sommet de Sulens est un témoin d'une nappe supérieure. Sa structure ne nous fixe pas d'une manière précise sur le sens de la poussée qui a donné naissance au charriage. Il en est de même des lames sous-jacentes. Seule la nappe inférieure nous renseigne sur la direction

d'où est venu ce pli couché. Sa racine doit évidemment être cherchée à l'est des Aravis.

Ce n'est qu'en 1902 que nous avons pu reprendre l'étude des Annes et des montagnes environnantes (III, 37). Sous la masse supérieure triasique et liasique du sommet, dans laquelle nous avons découvert du Bajocien au cœur d'un synclinal ouvert au nord, nous avons constaté la présence d'une série de lames analogues à celles qui sont intercalées dans le souhassement de Sulens Elles sont constituées par du Jurassique supérieur, du Crétacé supérieur, identique à celui des Préalpes, des brèches polygéniques à Nummulites. Ces lames, toujours discontinues, souvent répétées, sont évidemment l'homologue de la nappe moyenne de Sulens. Elles ne nous apprennent rien sur le sens de la poussée.

La question de l'emplacement de la racine des nappes superposées des Annes et de Sulens est intimement liée à celle de l'origine des Préalpes romandes, car nos « Klippes » de Savoie, avec leur soubassement, reproduisent en miniature la disposition tectonique de cette région si discutée, où l'on rencontre en nappes distinctes les mêmes faciès des terrains secondaires que dans les masses exotiques du synclinal de Serraval. Il ne saurait y avoir de doute aujourd'hui que cette origine doive être cherchée assez loin dans l'intérieur des Alpes, dans tous les cas en arrière du massif du Mont Blanc.

La comparaison des faciès des nappes charriées avec ceux des séries en place de différentes zones tectoniques de la Savoie nous donne des indications plus précises sur l'origine de nos masses exotiques que ne pourrait le faire une comparaison analogue entre les séries charriées et les séries autochtones suisses.

Ainsi, le Jurassique supérieur et le Valanginien de la nappe inférieure de Sulens ressemblent à tel point aux formations autochtones sous-jacentes qu'il ne peut être question de leur attribuer une origine très lointaine. Il est vraisemblable que leur emplacement primitif se trouvait non loin en arrière des racines des plis couchés du massif de Beaufort, dont MM. Bertrand et Ritter ont décrit l'extraordinaire empilement.

La nappe moyenne, où la présence de conglomérats polygéniques éocènes constitue, aussi bien à Sulens qu'aux Annes, le trait caractéristique, paraît avoir sa racine immédiatement en arrière de la zone du Mont Blanc, dans la traînée de conglomérats très semblables, découverte par MM. Kilian et Révil, qui s'étend depuis Moutiers-en-Tarantaise jusque vers le col du Cormet de Roselend.

La nappe supérieure possède évidemment une origine plus interne encore. Le faisceau de plis isoclinaux triasiques et liasiques qui fait suite à la bande éocène de Moutiers et qui précède la zone houillère a tous les caractères tecto-

niques et stratigraphiques requis pour être envisagé comme sa racine et comme celle des « Préalpes médianes », qui n'auraient donc pas une origine aussi lointaine que le pense M. Lugeon. Dans tous les cas, il ne faut pas songer à rechercher la racine des masses supérieures des Annes et de Sulens dans le seuil de Mégève, comme on l'avait suggéré, car le faciès du Lias y est totalement différent. Il ne peut non plus être question de faire venir les « Klippes » d'une racine située sur le bord externe des Alpes, conformément à la théorie de M. Quereau.

Alpes calcaires de Suisse. — Mes études synthétiques sur les Alpes occidentales m'ont amené à plusieurs reprises à visiter certains points des Alpes Suisses dont la connaissance était d'un intérêt capital pour l'interprétation tectonique de l'ensemble de la région. Je résumerai plus loin les résultats généraux que j'ai obtenus et ne mentionnerai ici que quelques observations personnelles qu'il m'a été donné de faire.

Lors d'un très court séjour sur les bords du lac de Thoune, j'ai pu constater (III, 6) que l'emplacement de ce lac coïncidait avec un grand abaissement transversal de l'axe des plis vers le sud. J'ai établi que l'anticlinal du Brienzer Grat était la continuation légèrement décrochée du grand anticlinal couché du Morgenberghorn et que l'anticlinal en dôme du Justis-Thal se continuait sur la rive gauche par les plis visibles entre Leissigen et Därligen. J'ai reconnu, en outre, l'existence, à la Wetterlatte, au sud du Suldthal, d'un lambeau de recouvrement urgonien, reposant sur un soubassement de couches sénoniennes et éocènes.

J'ai pu de même constater. dans les environs du lac de Wallenstadt, que le massif néocomien de la Neuen Alp, au N.E. de Mollis, qui repose partout sur l'Éocène, n'est autre chose qu'un lambeau de recouvrement, découpé par l'érosion dans la nappe qui se retrouve plus au nord et dont font partie les Churfirsten.

Enfin, j'ai été le premier à montrer (III, 13) que les charnières du Ruoggisboden ne sont autre chose que les charnières anticlinales des plis couchés du Glärnisch, séparées de ce massif par le creusement du Klönthal. Les coupes détaillées de M. Burckhardt ont vérifié, depuis, cette assimilation.

Lambeaux de recouvrement de l'Ubaye (en collaboration avec M. Kilian). — Comprise entre le massif cristallin du Pelvoux, au nord, et celui du Mercantour, au sud-est, la région de l'Embrunais et de l'Ubaye apparaît à première vue comme une vaste dépression de terrains nummulitiques, comprise entre deux aires de surélévation. Deux profondes coupures transversales, la vallée de la Durance et celle de l'Ubaye, permettent de reconnaître le soubas-

sement des terrains tertiaires, qui est généralement formé par des dépôts jurassiques ou crétacés, affleurant dans le fond des vallées, tandis que les hauteurs sont presque exclusivement constituées par des schistes et des grès, éocènes et oligocènes, qui méritent souvent le nom de Flysch.

Au milieu de ce monotone pays gréseux et schisteux surgissent quelques montagnes calcaires aux formes hardies, comme Chabrières, le Morgon, les Séolanes, semblables à des forteresses qui gardent l'entrée des vallées. Leur nature mésozoïque est connue depuis longtemps et Charles Lory les envisageait comme autant d'îles dans la mer éocène.

Dès notre première visite nous avons pu nous convaincre, M. Kilian et moi, du rôle considérable que jouent dans la région les phénomènes de recouvrement. En 1892, nous annoncions l'existence de ces phénomènes et nous en donnions des preuves dans une note préliminaire, publiée en 1894 (III, 10), à une époque où les recouvrements, *réellement démontrés*, étaient encore peu nombreux dans les Alpes et notamment dans les Alpes françaises.

Ces preuves étaient à la fois d'ordre tectonique et d'ordre stratigraphique.

Les preuves tectoniques du recouvrement sont tirées de la présence de masses de calcaires jurassiques ou triasiques complètement isolées et posées sur un soubassement de Flysch. La petitesse de certaines de ces masses ne laisse aucun doute à cet égard. Le Joug de l'Aigle, près du col de Famouras, par exemple, n'est autre chose qu'un immense bloc de quartzites triasiques perché sur des schistes noirs priaboniens. D'autres masses sont plus volumineuses, mais la même interprétation s'impose là encore. Ainsi, la Grande Séolane est une lame énorme posée sur le Flysch et comprenant toute une série renversée. Ailleurs, la succession des couches secondaires est normale, mais leur superposition au Flysch est non moins évidente.

Ces faits nous conduisent à envisager toutes ces masses, non pas, ainsi que l'avait cru Charles Lory, comme des îlots, comme des écueils dans la mer du Flysch, mais comme des témoins, isolés par l'érosion, d'une nappe de terrains secondaires qui reposait sur les couches tertiaires. Ce sont de véritables lambeaux de recouvrement, analogues à ceux que M. Marcel Bertrand a décrits en Provence, analogues aux « Klippen » suisses, dont la vraie nature n'était pas encore connue, lorsque nous signalions le phénomène dans l'Ubaye.

Il existe toute une ceinture de ces lambeaux, depuis la vallée d'Ancelle, dans le bassin du Drac, jusqu'à la limite des Alpes-Maritimes. Tantôt ils reposent sur le Flysch, tantôt ils sont en contact direct avec les terrains secondaires du soubassement. Dans ce cas, le contraste est particulièrement frappant entre les faciès du soubassement et les faciès des lambeaux de recouvrement.

Les terrains mésozoïques du soubassement appartiennent au *type dauphinois*. Le Bajocien est identique à celui des environs de Gap. Le Bathonien, le Callovien,

l'Oxfordien forment un ensemble extrêmement puissant, constitué par des marnes ou des schistes et connu dans le pays sous le nom de « terres noires ». Les termes supérieurs du Jurassique sont à l'état de calcaires compacts. Le Néocomien est marneux.

Tous ces terrains présentent le faciès vaseux, bathyal. C'est la *série autochtone*.

Les terrains mésozoïques des lambeaux de recouvrement appartiennent par contre au *type briançonnais*. Le Lias y présente quelquefois des brèches analogues à la brèche du Télégraphe, d'autres fois il ressemble d'une façon étonnante à celui des environs de Digne. Le Dogger est absent. Le Malm est soit à l'état de calcaire coralligène, soit à l'état de brèche à ciment rouge, identique au marbre de Guillestre. Le Néocomien n'existe qu'en un point, au sommet du Lan, près Barcelonnette.

En général, ce sont les formations néritiques qui prédominent. C'est la *série exotique*.

Comme en Suisse, la série autochtone et la série exotique sont superposées sur une même verticale. Cependant il est possible, dans l'Ubaye et dans l'Embrunais, d'indiquer la direction d'où est venue la masse en recouvrement, et cela rien que par la nature des faciès de la série exotique. Le charriage vient évidemment de la direction du Briançonnais, où se retrouvent des faciès analogues, c'est-à-dire du nord-est.

La tectonique des lambeaux de recouvrement vient à l'appui de cette manière de voir. En effet, on y observe des plis dont les charnières sont conservées, des plis en C, ouverts, les anticlinaux vers l'intérieur de la chaîne, les synclinaux vers l'extérieur. Le lambeau du Lan ou Chapeau de Gendarme, près Barcelonnette, est découpé dans un vaste anticlinal couché de Malm, avec noyau de Lias et de Trias, ouvert vers le nord-est. Le Morgon est un immense synclinal de Trias, avec noyau de Lias, ouvert au sud-ouest.

On peut ainsi déterminer, au moins approximativement, la position du *pli frontal* de la grande nappe charriée à faciès briançonnais, qui s'étend en recouvrement par-dessus le Flysch de l'Embrunais et de l'Ubaye. Il est plus difficile de fixer la position de sa *racine*.

Nous avions cru tout d'abord, M. Kilian et moi, que les lambeaux de recouvrement provenaient d'une nappe dont la racine est visible au milieu du Flysch, sur la rive droite de l'Ubaye, sous la forme d'une lame anticlinale de Trias. Nous avons cependant dû reconnaître bientôt que cette interprétation n'était pas admissible, puisque cette lame est *dans* le Flysch, tandis que les lambeaux de recouvrement sont posés *sur* le même Flysch.

Nous avons pensé ensuite que la nappe supérieure provenait du bord externe de la zone du Briançonnais.

Il existe toutefois deux faciès, qui jouent un rôle très important dans

les lambeaux de l'Uhaye et qui sont totalement inconnus dans toute la zone du Briançonnais. Ce sont, d'abord, les argilolithes rouges et vertes, par quoi est représenté le Trias supérieur dans tout le massif dn Morgon ; ce sont, ensuite, les calcaires et les brèches à grandes Nummulites, dont la présence est un des traits stratigraphiques les plus remarquables des masses exotiques des environs de Barcelonnette.

C'est la découverte très inattendue et toute récente de quelques lambeaux de ces brèches à grandes Nummulites, près de Saint-Clément, en plein Embrunais, qui nous a permis de préciser l'emplacement de la racine du grand pli couché dont les masses exotiques de l'Uhaye sont des témoins. Ces brèches forment, sur une faible longueur, une intercalation anticlinale au milieu du Flysch. Voilà probablement tout ce qui reste d'un pli immense, qui partout ailleurs est entièrement laminé et séparé de sa racine.

Ce pli supérieur n'était pas le seul dont la racine se trouvât dans la zone du Flysch ; en avant de lui et sous lui il en existe plusieurs autres, qui se manifestent aujourd'hui soit sous la forme de lames de terrains mésozoïques affleurant au milieu du Flysch, sur les flancs des grandes vallées de la Durance et de l'Uhaye, soit sous la forme de pointements anticlinaux, dont les charnières sont nettement visibles.

Les phénomènes de recouvrement de l'Uhaye et de l'Embrunais sont donc dus à l'existence de plusieurs grands plis couchés superposés, formant des intercalations anticlinales dans les puissantes masses de Flysch de la région. Dans ces plis, de nombreuses lacunes dans la succession des couches, constatées aussi bien dans les flancs inverses que dans les flancs normaux, attestent l'intensité des étirements.

Bord externe du Briançonnais (en collaboration avec M. Kilian). — Dans le but de rechercher la racine de la nappe supérieure de l'Embrunais et de l'Uhaye — racine dont nous avons trouvé plus tard une « cicatrice » dans la zone du Flysch — nous avons exploré ensemble, M. Kilian et moi, le bord externe du Briançonnais, entre Freissinières et Vars. Dans la note (III, 27) que nous avons consacrée à résumer les résultats de notre course commune, nous nous sommes également donné pour tâche de réfuter une hypothèse fort ingénieuse de M. Termier, d'après laquelle la zone du Briançonnais se trouverait constituée par quatre « écailles » superposées, originaires du versant italien des Alpes, poussées sur la zone du Flysch, indépendamment de tout phénomène de plissement, et plissées après leur charriage.

Nous avons pu montrer tout d'abord que l'indépendance entre la zone du Flysch et la zone du Briançonnais n'était pas aussi absolue que le

pensait M. Termier et que non seulement les faciès briançonnais se rencontraient en lames anticlinales intercalées dans la zone du Flysch, mais que le Flysch lui-même avait laissé des témoins assez étendus dans les synclinaux du Briançonnais.

L'étude détaillée du faisceau de plis isoclinaux qui borde à l'est la région de l'Embrunais, dans les environs de Champcella et de Réotier, nous a fourni la preuve que la première et la deuxième écaille de M. Termier, dont ces plis sont la continuation, au lieu de reposer sans racines sur un substratum de Flysch, comme l'exigerait l'hypothèse de notre confrère, s'enfoncent vers le sud sous le Flysch, en présentant une terminaison périclinale.

La troisième écaille a, elle aussi, sa racine à l'ouest de l'éventail du Briançonnais. Ce n'est, en réalité, qu'un vaste pli couché, dont le flanc inverse est conservé partiellement sous la forme d'un grand lambeau de recouvrement qui repose sur le faisceau isoclinal de Champcella. Cet anticlinal couché fait d'ailleurs partie de tout un système de plis empilés, dont quelques-uns, reployés en voûte dans la gorge du Guil, dépassent même l'horizontale, si bien que leurs charnières anticlinales sont enfoncées dans le Flysch et simulent des charnières synclinales. Il résulte de ce fait que la disposition symétrique des couches de part et d'autre de la bande de Flysch de Guillestre n'est qu'apparente.

Nous avons conclu que, de même, l'existence d'une série de plis couchés empilés, en partie laminés, puis replissés, expliquait suffisamment les particularités si curieuses signalées dans les environs de Briançon par M. Termier. Notre confrère s'est d'ailleurs, depuis, rallié entièrement à notre manière de voir. Il n'admet plus une origine lointaine que pour sa « quatrième écaille ».

La nappe charriée de l'Embrunais. — Dans l'Embrunais et dans l'Ubaye le soubassement autochtone de dépôts jurassiques plissés est recouvert en discordance par une masse puissante de Flysch éocène et oligocène, qui se comporte à première vue comme une série transgressive. Mes explorations des dernières années m'ont donné toutefois la preuve certaine que cette transgressivité, qui est la règle dans les régions voisines, n'est ici qu'une apparence, que la discordance est purement mécanique (III, 37, 1889).

J'ai été frappé tout d'abord de l'absence constante de conglomérat de base au contact de la série tertiaire de l'Embrunais et de son substratum, alors que dans les régions voisines, dans les vallées du Drac et du Verdon, ce conglomérat existe presque toujours. On ne connaît pas davantage, dans le voisinage immédiat du contact, les couches les plus anciennes de l'Éocène des Alpes françaises, caractérisées par *Nummulites aturicus* et *millecaput*, ni même les

couches à *Nummulites contortus*. Par contre, on constate fréquemment que les couches les plus élevées de l'Oligocène, les grès d'Annot, occupent la base de la couverture tertiaire ; j'ai observé ce fait par exemple à Embrun et dans les environs du Pont-du-Fossé. D'autres fois, la série débute par les calcaires phylliteux à Globigérines de l'Éocène moyen et alors ces couches sont énergiquement froissées et laminées ; le cas est très fréquent dans l'Ubaye, aux environs de Revel, des Thuiles et de Barcelonnette, et j'ai même pu observer au contact du substratum de superbes miroirs de faille.

Mais il y a mieux. Sur de nombreux points, les couches jurassiques sous-jacentes sont séparées du Flysch par des intercalations de gypse, dont on suit les affleurements sur d'assez grandes longueurs. J'avais tout d'abord considéré, avec Goret, ces gypses comme calloviens ; je leur avais ensuite attribué une origine épigénique ; il n'y a plus de doute pour moi maintenant qu'ils sont en réalité triasiques, car ils sont accompagnés fréquemment de cargneules ou de calcaires identiques à ceux qui représentent, dans le Briançonnais et dans les chaînes entre Gap et Digne, le Trias moyen et je les ai vus associés aux Quartzites du Trias inférieur. Ailleurs ce sont des lames de Jurassique supérieur qui séparent le Flysch du substratum.

J'ai tiré, dès 1899, de cet ensemble d'observations les conclusions suivantes : *le Flysch de l'Embrunais ne se trouve pas sur le Jurassique du soubassement en repos normal, mais il a été amené dans sa position actuelle par un charriage qui a entraîné dans sa marche de véritables lambeaux de poussée triasiques et jurassiques*, c'est-à-dire des anticlinaux sous-jacents étirés en lames discontinues ou tout au moins privés de leur racine.

Depuis le jour où j'ai fait la constatation de la superposition anormale du Flysch à son soubassement, toutes mes observations sont venues confirmer mes conclusions. J'ai retrouvé des lames de Trias en un très grand nombre de points, précisément à l'endroit où elles devaient se trouver. Plusieurs courses, entreprises avec M. Kilian dans le but de suivre la ligne de contact, nous ont permis de vérifier la justesse de mon interprétation dans toute l'Ubaye et jusque sur la frontière italienne. J'ai pu ainsi m'assurer que la limite de la série en place et de la série charriée passe en arrière du massif du Mercantour. J'ai constaté de même qu'elle passe derrière le massif de Pelvoux.

L'extension minimum, vers le sud et vers l'ouest, de la nappe de Flysch charrié est indiquée par un certain nombre de témoins de cette nappe, qui en sont actuellement séparés par l'érosion ; mais il y a peut-être lieu d'admettre que toute sa partie frontale a été détruite, car on observe en plusieurs endroits, en avant du front *actuel* de la nappe, des imbrications

dans le soubassement autochtone, qui pourraient suggérer l'idée, suivant l'heureuse expression de M. Termier, d'un « traîneau écraseur » arrachant des lames du substratum.

Il est plus difficile encore de fixer jusqu'où le recouvrement s'étendait vers l'intérieur des Alpes.

Les marnes jurassiques du soubassement semblent au premier abord disparaître à Châteauroux, car, à partir de cette localité, la Durance n'entame plus que du Flysch jusqu'au Plan-de-Phazy et à Réotier, en amont. Là apparaissent des couches triasiques et liasiques que l'on serait tenté de croire autochtones. On pourrait évaluer, d'après ces données, la largeur de la racine à six kilomètres. Mais, en réalité, elle est bien moindre et en voici la raison. J'ai découvert, il y a deux ans, en aval de Saint-Clément, dans le lit du torrent de Couleau, un affleurement de marnes noires bathoniennes ou calloviennes, identiques à celles qui forment la plus grande partie du soubassement de l'Embrunais. Entre ces marnes, manifestement autochtones, et la couverture de Flysch, j'ai rencontré, comme c'est presque la règle dans la région, une mince lame de cargneules triasiques. Le Flysch est donc ici encore charrié, et le petit affleurement du ravin de Couleau n'est autre chose qu'une *fenêtre*, dans le sens que M. Suess attribue à ce terme, c'est-à-dire une ouverture pratiquée par l'érosion dans une masse charriée et permettant d'apercevoir le substratum. Et cette « fenêtre » n'est guère à plus de deux kilomètres des affleurements triasiques et liasiques de Réotier, qui présentent le faciès briançonnais dans toute sa netteté !

Il résulte de cette découverte assez inattendue que, si les plis mésozoïques de Réotier et du Plan-de-Phazy sont réellement en place, la racine de la grande nappe charriée du Flysch de l'Embrunais se trouverait réduite, par le laminage qu'elle a subi, à une largeur de deux kilomètres et que, de plus, les terrains jurassiques à faciès dauphinois, autochtones seraient rapprochés d'autant, par les compressions latérales, des terrains à faciès briançonnais.

Je ne crois pas qu'il en soit réellement ainsi, car le Flysch de l'Embrunais et celui du bord du Briançonnais sont en parfaite continuité au sud de Risoul, de sorte que les anticlinaux mésozoïques qui les séparent au nord de cette localité ne sont sans doute pas autre chose que des têtes redressées de grands anticlinaux couchés, dont la racine doit être cherchée en profondeur assez loin au nord-est de leur zone d'affleurement actuelle. De même la voûte à noyau de Quartzites triasiques et de porphyrite, que met à nu la gorge du Guil et que M. Kilian envisage comme étant en place, n'est vraisemblablement que le flanc normal d'un pli couché situé en profondeur. Il est impossible de dire actuellement où est la racine de tous ces anti-

clinaux ; on ne peut pas indiquer jusqu'où vers le nord-est s'étend la nappe de Flysch qui englobe et supporte ces mêmes plis; on ne peut pas davantage affirmer que les terrains autochtones, à faciès dauphinois, en pénètrent pas en profondeur sous ce Flysch charrié, de manière à passer sous Guillestre, sous Saint-Crépin, en d'autres termes sous le bord externe du Briançonnais, rejoignant ainsi, à une distance que nous pourrons peut-être un jour évaluer approximativement, la zone à jamais cachée à nos yeux où s'effectue le passage latéral du faciès dauphinois au faciès briançonnais.

Si nous ne tenons compte que des recouvrements réellement constatés, nous pouvons assigner à la zone de charriage du Flysch une largeur minimum de 25 kilomètres. En fait, cette largeur était probablement au moins double. Il semble toutefois qu'elle n'a pas été partout aussi considérable et que le charriage a atteint son maximum dans l'espace compris entre les deux massifs cristallins, tandis qu'en arrière d'eux, la zone du Flysch est en place. J'ai conclu de l'ensemble de ces faits que *dans la « région des grès de l'Embrunais » la zone du Flysch ou zone des Aiguilles d'Arves est charriée sur la zone du Mont Blanc.*

Mais la surface de base du Flysch charrié n'est pas un simple plan incliné, c'est une surface fortement ondulée, présentant des anticlinaux et des synclinaux, comme le ferait le contact normal de deux couches plissées, et la nappe supérieure, qui repose sur le Flysch charrié, a subi ces mêmes ondulations. Elle n'a subsisté que dans les régions synclinales, sous la forme de lambeaux de recouvrement épargnés par l'érosion (voir plus haut). Dans sa région frontale, elle se digite et se décompose en plusieurs plis superposés, couchés même au-delà de l'horizontale, comme c'est le cas dans la partie est du massif du Morgon. Quelques-uns de ces plis sont repliés à leur tour ; il en résulte, l'érosion intervenant, de « faux synclinaux », c'est-à-dire des synclinaux dont le noyau est plus ancien que les flancs, des apparences de synclinaux de Lias encastrés dans le Flysch, quelquefois avec noyaux de Trias. En réalité, ce sont des têtes d'anticlinaux retournés.

Ces complications extraordinaires ne peuvent s'expliquer que si l'on admet un nouveau plissement postérieur à l'empilement des plis couchés et postérieur au charriage.

Les granites posthouillers de la vallée de l'Arve (en collaboration avec MM. Maurice Lugeon et Paul Corbin). — Le nouveau chemin de fer du Fayet à Chamonix traverse, entre Servoz et les Houches, dans la coupure transversale de l'Arve, un lambeau assez étendu, marqué sur les cartes géologiques en Trias inférieur du type « bésimaudite ». Les tranchées que nous avons suivies pas à pas, en y relevant une coupe détaillée,

nous ont permis de reconnaître la présence d'un affleurement granitique, qui avait jusqu'ici échappé à tous les observateurs, quoiqu'il s'étendît sur une longueur de 3 km. (III, 32). M. Michel-Lévy, qui a bien voulu entreprendre l'étude microscopique de nos échantillons de roches, a reconnu que la roche dominante est un très beau granite du type de Vallorcine, c'est-à-dire à mica noir abondant. La masse granitique est traversée par plusieurs dykes de kersantite et de porphyrite, de 5 m. à 2 m. d'épaisseur.

Le granite forme, en général, une bande d'une largeur moyenne de 200 m., plus ou moins parallèle à l'Arve, mais, à partir du Jour d'en Haut, l'affleurement s'élargit considérablement vers le sud, car le granite se couche de plus en plus sur les schistes encaissants, pour les recouvrir, aux Bochards, en nappe horizontale, épaisse de quelques mètres seulement. Il est lui-même recouvert par des quartzites triasiques, qu'un esprit non prévenu ne pourrait pas distinguer de la roche cristalline sous-jacente, ici particulièrement chloriteuse. C'est là évidemment l'origine de la confusion du granite avec la « bésimaudite ».

Sur tout le pourtour de son affleurement, le granite est en contact avec des schistes d'aspect très variable, mais qui, en réalité, constituent une masse stratigraphiquement homogène. A côté de schistes à séricite et de véritables cornes vertes plus ou moins cristallines, qui ne semblent guère différer des roches attribuées au Précambrien dans les massifs cristallins voisins, on rencontre des schistes noirs, ardoisiers, avec intercalations de conglomérats et de parties riches en empreintes végétales, qui les ont fait attribuer au Houiller supérieur. Il est totalement impossible de séparer sur le terrain les deux types de schistes, de sorte que toute la masse doit être attribuée au Carbonifère.

Cette conclusion nous a conduits à assigner au granite un âge post-houiller, ou, pour préciser davantage, poststéphanien. C'est la première fois qu'il est possible, en France, d'attribuer un âge aussi récent à une venue granitique (III, 35).

Le granite a produit des phénomènes de métamorphisme, dans une zone d'ailleurs très étroite, non seulement sur les schistes à séricite, mais encore sur les schistes ardoisiers. Ceux-ci sont transformés en schistes micacés feldspathisés, que M. Michel-Lévy compare au type de Saint-Léon.

Il convient de signaler, en outre, la présence, au milieu du Houiller, de plusieurs bancs de cipolin gris-perle, d'épaisseur variable, régulièrement interstratifiés. L'existence de calcaires métamorphiques dans le Houiller semblerait indiquer, pour ce terrain, une origine marine.

Les schistes et les cornes vertes ont subi par places un métamorphisme

général des plus intenses, auquel viennent s'ajouter encore, dans les parties les plus froissées, des traces incontestables de dynamométamorphisme.

L'attribution au granite des « bésimaudites » de la vallée de l'Arve nous a conduits à nous demander si celles du sommet du Prarion, auxquelles M. Zaccagna a tout d'abord assigné un âge permien, ne devraient pas subir le même sort. Nous avons reconnu, en effet, que leur affleurement n'est autre chose qu'une intercalation isoclinale dans le Houiller d'une roche primitivement cristalline et massive, devenue schisteuse par le laminage intense qu'elle a subi (III, 35). Nous avons d'ailleurs rencontré sur le versant sud du Prarion, sur la nouvelle route de Bionnasset, un nouveau pointement de granite.

Il semble cependant, d'autre part, qu'en face de Chedde, des arkoses et des anagénites, d'âge incontestablement permien, passent en toute proportion à des micaschistes et à de véritables gneiss.

TRAVAUX SYNTHÉTIQUES

Jura. — J'ai publié en 1894, dans le Dictionnaire Joanne (III, 7), un article sur la chaîne du Jura, dont M. Emm. de Margerie a bien voulu dire, dans le Bulletin de la Société géologique, que « c'est la première description orographique soignée qui ait été donnée de l'ensemble du massif ». J'y ai résumé très brièvement l'histoire géologique de la chaîne; j'ai insisté davantage sur les caractères tectoniques et je me suis tout particulièrement attaché à étudier l'orographie dans ses relations avec la structure géologique. J'ai synthétisé, dans une petite carte schématique, les travaux publiés dans cet ordre d'idées par les géologues suisses et français qui se sont occupés des diverses parties du Jura.

J'ai précisé, davantage qu'on ne l'avait fait avant moi, la subdivision de la chaîne en Jura méridional ou Bugésien, Jura central ou Franc-Comtois et Jura oriental ou Argovien. J'ai montré combien grande est l'analogie entre la terminaison orientale et la terminaison méridionale. Dans les deux cas, les plis sont déversés sur le bord convexe du croissant et la chaîne se réduit finalement à un anticlinal unique. Mais, tandis que les Lägern s'appuient au nord à une région non plissée, au bord méridional de plateaux horizontaux faussement attribués au Jura, le chaînon terminal du Jura Bugésien se relie à l'est à un faisceau de plis indépendant, intermédiaire entre le Jura et les Alpes. C'est ce faisceau renforcé qui se continue vers le sud, pour former les

massifs de la Chartreuse, puis du Vercors, que j'ai proposé de réunir sous le nom de *Jura dauphinois* (III, 16).

Mon article se termine par un aperçu sur l'hydrographie et sur les cultures.

Régions naturelles et lignes directrices de la chaîne des Alpes. — La synthèse géologique d'une grande région naturelle de la surface terrestre, telle que la chaîne des Alpes, peut être entreprise en employant deux méthodes bien différentes : la méthode historique et la méthode géographique. La méthode historique a ses avantages : elle est plus attrayante pour le lecteur, elle conduit plus rapidement au but; mais, restreinte à une chaîne déterminée, l'histoire de la Terre perd une grande partie de son intérêt, qui réside dans les comparaisons de région à région. La méthode géographique est plus ingrate : elle fatigue le lecteur en attardant son attention à des détails locaux, ou en l'entraînant à des vues à vol d'oiseau auxquelles il est mal préparé; sous un aspect analytique elle est cependant essentiellement synthétique, car elle coordonne des faits épars et leur donne par là même leur vraie signification; elle conduit seule à connaître l'architecture de la chaîne et seule elle nous révèle la genèse des formes actuelles. C'est cette deuxième méthode que j'ai employée dans une série de publications, s'adressant les unes aux géographes (III, 5; III, 15), les autres plus spécialement aux géologues (III, 13; III, 19).

Pensant que la nomenclature des régions naturelles des Alpes avait besoin d'une revision sérieuse, j'ai d'abord essayé de donner un aperçu (III, 5) des *zones orographiques* de la chaîne, dans lequel, tout en tenant grand compte des lignes tectoniques principales et surtout de la nature des terrains, j'ai avant tout cherché à circonscrire les massifs au moyen des coupures actuelles fournies par les cours d'eau et j'ai groupé ces massifs d'après leurs affinités oroplastiques. Il n'avait pas été fait depuis trente ans de tentative analogue s'étendant à l'ensemble de la chaîne des Alpes.

Je me suis occupé aussi de reconstituer les *zones de sédimentation*, mais seulement pour les Alpes occidentales. J'ai résumé plus haut les résultats auxquels j'ai été conduit.

Mais il y avait un intérêt essentiel à diviser les Alpes en *zones tectoniques* homogènes, c'est-à-dire composées de faisceaux de plis continus, en d'autres termes à retracer les lignes directrices de la chaîne. J'ai fait paraître en 1896 un premier essai, très sommaire, accompagné d'une carte des lignes directrices, essai dont le but était de fournir un premier canevas qui servirait de base pour des travaux plus détaillés (III, 15).

J'ai d'ailleurs publié diverses notes sur les zones tectoniques de la Savoie (III, 14) et des Alpes suisses (III, 19), dans lesquelles j'ai proposé un certain nombre d'interprétations qui sont aujourd'hui assez généralement adoptées.

Si pour d'autres points je me suis trouvé conduit à modifier ma première manière de voir, c'est que je n'avais pas tout d'abord tenu un compte suffisant des grands phénomènes de charriage dont M. Maurice Lugeon a montré récemment le rôle dominant dans la tectonique des Alpes suisses.

C'est Charles Lory qui, le premier, dès 1866, proposa une division des Alpes du Dauphiné et de la Savoie en zones, qui, aujourd'hui encore, est conforme à l'état de nos connaissances, en tant qu'elle a trait à la région restreinte que son auteur avait prise comme point de départ, c'est-à-dire à une bande transversale correspondant à la latitude de Grenoble. En cherchant à appliquer ces subdivisions aux régions situées plus au nord ou plus au sud, Lory et ses émules tombèrent dans le travers de confondre les zones tectoniques avec les zones de sédimentation et avec les zones orographiques qui, en réalité, sont souvent loin de coïncider (III, 16).

Lory distinguait une zone des chaînes subalpines et quatre zones alpines. Avec certaines modifications, ces subdivisions ont été adoptées, bien que sous des noms différents, par les divers auteurs qui se sont préoccupés de les suivre vers le nord et vers le sud. La première zone alpine est devenue pour M. Diener la « zone du Mont-Blanc ». Le même auteur a réuni la seconde et la troisième zone sous le nom de « zone du Briançonnais », que je réserve à la troisième, tandis que la seconde est appelée tantôt « zone des Aiguilles d'Arve » (Haug), tantôt « zone du Flysch » (Termier). La quatrième zone est devenue chez M. Diener la « zone du Mont Rose », j'ai pensé que la dénomination de « zone du Piémont » lui convenait mieux.

La zone des chaînes subalpines de Lory est particulièrement hétérogène. Elle comprenait le Vercors, le massif de la Grande-Chartreuse, les Bauges, le Genevois et les hautes chaînes du Faucigny. M. Diener y adjoint encore les Alpes vaudoises, les Alpes calcaires bernoises et glaronnaises. J'ai démontré que ces divers massifs se répartissent dans plusieurs zones tectoniques bien différentes, quoiqu'ils forment une zone orographique assez homogène. J'ai réuni le Vercors et la Chartreuse sous le nom de ***Jura dauphinois***, car aucun pli alpin ne prend part à leur formation. C'est une zone tout à fait indépendante, dont les relations au sud avec la *zone du Diois*, à plis E.-W., ne sont pas encore bien élucidées.

Les plis N.-S., puis N.E.-S.W., des Bauges et du Genevois ne se continuent pas dans le massif de la Grande-Chartreuse. Ils sont tous coupés

obliquement par la vallée du Graisivaudan, qui empêche de les suivre vers le sud, mais leur continuation se trouvait certainement dans la couverture sédimentaire du massif cristallin de Belledonne, aujourd'hui détruite par l'érosion. Au point de vue tectonique, ces massifs calcaires et les massifs de Belledonne, de Beaufort, du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges, qui font partie de la 1[re] zone de Lory, constituent une zone unique, que j'ai proposé d'appeler la *zone des Hautes Chaînes de Savoie*. J'ai établi que ce grand faisceau de plis ne s'étend pas au nord au delà du massif de Morcles. Je reviendrai plus loin sur ce point.

Dans le Sud du Dauphiné on suit facilement jusqu'au Drac les massifs cristallins de Belledonne et des Grandes-Rousses, ce dernier pouvant être envisagé, avec M. Kilian, comme un nouvel épanouissement du faisceau du Mont Blanc. Mais un nouveau faisceau apparaît en arrière du précédent; j'ai admis qu'il le *relayait* vers le sud; dans tous les cas, il n'a pas d'équivalent en Savoie. C'est le massif du Pelvoux, dont la tectonique a été si magistralement élucidée par M. Termier. Son auréole sédimentaire est formée, à l'ouest, par les plis et les imbrications du *Gapençais*, qui viennent interférer, comme je l'ai montré plus haut, avec les plis du Diois, et se continuent, au delà de l'aire de pénétration de ce système antéoligocène, dans les plis de la *Haute-Provence*. Ceux-ci se moulent autour du dôme permien de Guillaumes. En arrière d'eux s'élève le massif cristallin elliptique du Mercantour, pendant de celui du Pelvoux, dont il est séparé par l'aire d'ennoyage de l'Embrunais. J'ai réuni ces deux massifs et leur large ceinture de plis extérieurs sous la dénomination de *zone delphino-provençale*.

Dans la zone des Hautes Chaînes de Savoie, aussi bien que dans la zone delphino-provençale, les plis internes sont couchés, voire même charriés sur les plis plus extérieurs; mais les recouvrements qui en résultent sont minimes si on les compare à ceux qui ont leurs racines dans les deux zones suivantes.

Le parcours de la *zone des Aiguilles d'Arves* a été fort bien indiqué, entre le Rhône et la Durance, par Ch. Lory, qui en fait passer la continuation septentrionale par le val Ferret, en arrière du massif du Mont Blanc. La continuation vers le sud-est passe, de même, derrière le massif du Mercantour. Très resserrée en arrière des trois massifs cristallins du Mont Blanc, du Pelvoux et du Mercantour, la zone s'étale largement dans les intervalles compris entre ces massifs, et son bord externe est une des plus importantes lignes de contact anormal de toutes les Alpes occidentales. Entre le Mercantour et le Pelvoux elle est charriée sur la zone du Mont Blanc, comme je l'ai montré plus haut. Entre le Pelvoux et le Mont Blanc elle semble également s'être étendue en recouvrement

sur tout l'avant-pays, car la nappe moyenne de Sulens y possède très vraisemblablement sa racine. Mais c'est surtont au nord du Mont Blanc que le charriage du bord externe de la zone des Aiguilles d'Arves vers l'extérieur de la chaîne donne lieu à d'intéressants phénomènes de recouvrement.

J'ai été le premier à démontrer que, contrairement aux apparences, *les Diablerets ne sont pas la continuation tectonique de la Dent de Morcles*. J'ai établi, en effet, que la dépression du col de Cheville correspond à l'enfoncement, à l'ennoyage définitif des Aiguilles Rouges et de leur couverture sédimentaire, Muveran et Morcles; que l'anticlinal des Diablerets, continuation de celui de la Lizerne, est couché sur une très grande largeur, de manière à s'étendre par-dessus la « zone du Néocomien à Céphalopodes », qui s'introduit comme un coin entre les Diablerets et le Muveran; enfin, que le pli couché des Diablerets s'étend aussi sur la zone triasique et jurassique de Bex, qu'il recouvre au sud de Taveyannaz (III, 14; III, 19; III, 31).

Ces conclusions, qui allaient à l'encontre des idées généralement admises sur les relations tectoniques des Alpes calcaires suisses avec les Alpes calcaires de Savoie, ont été adoptées avec de légères modifications par M. Maurice Lugeon. Nous sommes pleinement d'accord pour envisager le pli couché des Diablerets comme un pli plus intérieur des Alpes qui vient cacher la continuation vers le nord du faisceau des Aiguilles Rouges (1). Je n'hésite pas à le considérer comme le prolongement direct du plus externe des plis du val Ferret. Comme dans l'Embrunais, le bord externe de la « deuxième zone » est donc charrié sur la « première zone ».

Mais le faisceau du val Ferret, ou, en d'autres termes, la zone des Aiguilles d'Arves, a certainement encore donné naissance à toute une série d'autres plis et j'ai cherché à démontrer, en me basant sur les cartes publiées par la Commission géologique suisse, que toutes les Alpes calcaires suisses, ainsi que les massifs cristallins de l'Aar et du Gothard, ne sont autre chose que l'épanouissement de ce faisceau (III, 19). Il semble bien, en effet, que c'est le long du Rhône valaisan qu'il faut chercher les racines des nappes superposées dont se composent, d'après les belles recherches de M. Lugeon, les Alpes calcaires suisses. C'est là aussi qu'est situé, d'après le même auteur, la racine de la zone interne des Préalpes.

(1) Je ne puis souscrire à l'explication si compliquée que donne M. Lugeon de l'intercalation de la zone du Néocomien à Céphalopodes entre les plis de Morcles et le pli couché des Diablerets. Pour moi cette zone appartient, *de même que la nappe inférieure de Sulens*, à un faisceau indépendant, qui a sa racine entre les plis du Mont-Joli et la zone des Aiguilles d'Arves, entre les plis de Morcles et celui des Diablerets. Le massif amygdalaire du Mont Blanc n'est peut-être que l'exagération de ce faisceau.

En arrière de la zone des Aiguilles d'Arves et du val Ferret se trouve la 3e zone de Lory, la *zone du Briançonnais*. J'ai cherché à préciser ses limites dans sa continuation vers le nord, à travers la Maurienne, la Tarantaise et le Valais (III, 19). J'en ai suivi la trace, sur la rive gauche du Rhône, jusqu'au-delà de la région du Simplon.

J'ai été amené, à plusieurs reprises (III, 8; III, 28), à discuter le problème tectonique des *Préalpes*. Le peu de valeur des arguments que l'on avait fait valoir en faveur de l'hypothèse, de leur charriage et de leur origine lointaine m'avait empêché d'accepter cette hypothèse et j'avais cru pouvoir expliquer leurs particularités tectoniques par un éventail composé imbriqué. Depuis, M. Lugeon a fait connaître des faits nouveaux qui ont ébranlé ma conviction première. Son argumentation est de nature à entraîner les plus sceptiques.

J'accepte donc maintenant l'hypothèse du charriage des Préalpes et ela d'autant plus volontiers que j'avais défendu moi-même, contre des adversaires redoutables, l'indépendance tectonique de cette région par rapport au faisceau du Genevois, d'une part, et, d'autre part, par rapport aux montagnes de la rive droite du lac de Thoune (III, 6; III, 14).

Les Préalpes sont constituées, comme les massifs des Annes et de Sulens, par plusieurs nappes superposées. Les analogies de faciès sont telles entre ces différents massifs, aujourd'hui séparés, qu'une continuité primitive et une communauté d'origine s'imposent à l'esprit. C'est pourquoi je cherche, dans la zone même du Mont Blanc, la racine de la nappe inférieure, caractérisée par la présence du Néocomien à Céphalopodes, aussi bien dans le soubassement de Sulens que dans les Préalpes. La nappe moyenne de Sulens et les zones internes des Préalpes viennent certainement de la zone des Aiguilles d'Arves et du val Ferret. La nappe supérieure des Préalpes, caractérisée par la brèche du Chablais, a manifestement sa racine dans la zone du Briançonnais, qui renferme, aussi bien en Savoie que dans le Valais, des brèches jurassiques tout à fait analogues. Reste la nappe des Préalpes médianes, avec ses « outliers » de la nappe supérieure des Annes et de Sulens; son origine est très discutée.

M. Lugeon croit qu'elle est de provenance très lointaine: j'ai fait valoir les arguments qui s'opposent à ce qu'on en cherche la racine dans la zone du Piémont; il est d'ailleurs logique de placer cette racine moins loin dans l'intérieur de la chaîne que celle de la nappe des brèches. Quelques-uns de ses faciès les plus caractéristiques offrent les plus grandes ressemblances avec les formations de même âge qui constituent les lambeaux de recouvrement de la nappe supérieure de l'Uhaye. Tous ces faits me portent à

croire que la nappe des Préalpes médianes a, elle aussi, sa racine dans la zone des Aiguilles d'Arves et dans son prolongement vers le nord.

La découverte que M. Kilian et moi avons faite récemment, près de Châteauroux (Hautes-Alpes), de la racine de la nappe supérieure de l'Ubaye, établit bien qu'une nappe peut être écrasée au point de ne laisser subsister qu'une *cicatrice*, avec lambeaux étirés en chapelet, au milieu des couches qui enveloppaient le pli couché originel. Rien ne nous prouve que la racine de la nappe des Préalpes médianes n'est pas de même représentée aujourd'hui par une simple cicatrice.

D'autre part, les travaux de M. Termier ont montré que la zone des Aiguilles d'Arves paraît réduite, en arrière du massif du Pelvoux, à une largeur infime, uniquement parce qu'elle a presque entièrement disparu sous les plis couchés du Briançonnais, qui, ailleurs, ont été enlevés par l'érosion, de sorte que la largeur de la zone est redevenue normale. Je suis porté à croire que toute la partie interne de la zone des Aiguilles d'Arves est de même cachée, en arrière du Mont Blanc et sur la rive gauche du Rhône valaisan, sous le bord externe du Briançonnais. Si ma supposition est fondée, nous ne connaîtrons peut-être jamais la racine des Préalpes médianes.

Ainsi tomberait l'argument que j'avais tiré moi-même, contre l'hypothèse du charriage des Préalpes, de l'absence des faciès préalpins dans le Briançonnais et dans le Valais.

En arrière de la zone du Briançonnais s'étale largement, avec ses plis en retour et ses massifs centraux de roches cristallophylliennes, la *zone du Piémont*. J'en ai donné également un aperçu tectonique (III, 15; III, 19) et j'ai recherché comment elle se continue dans le sens longitudinal.

A l'extrémité sud-est de l'arc décrit par les Alpes occidentales, les plis de la zone du Piémont ont pris une direction W.-E. et disparaissent sous la plaine du Pô. Ce n'est qu'après que, dans les environs de Savone, les plis de la zone du Briançonnais ont pris une brusque inflexion vers le sud que reparaît la zone du Piémont, sous la forme d'un grand massif rectangulaire de roches vertes, qui borde le littoral entre Varazze et Gênes. Ici aussi les plis, d'abord W.-E., se recourbent à angle droit et atteignent la mer avec une direction N.-S., si bien qu'il est légitime de rechercher vers le sud la continuation de la zone du Piémont et que je me suis demandé si la zone orientale de la Corse, constituée par des schistes d'âge indéterminé, associés à des roches vertes très développées, n'était pas précisément cette continuation (III, 19).

Vers le N.-E., la zone du Piémont passe dans le Tessin, et la région

des schistes des Grisons doit bien certainement lui être attribuée, de même que la « fenêtre » des schistes de la Basse-Engadine.

A la zone du Piémont fait suite vers le S. E. la *zone des amphibolites d'Ivrée*, que j'ai envisagée, dès 1896, comme la vraie limite entre les Alpes septentrionales et les Alpes méridionales. Elle se prolonge vers l'est « par un synclinal de calcaires triasiques, qui suit la rive droite de l'Adda jusqu'à Tirano et qui, de ce point, se dirige vers le N. E., par les vallées d'Oglio et d'Ulten ». Je ne connaissais pas encore, lorsque j'écrivais ces lignes en 1896 (III, 15), le travail de M. Salomon sur la « Tonale-Linie ». La carte qui accompagne mon travail ne laisse cependant aucun doute ni sur le trajet que j'ai assigné à la continuation de la zone d'Ivrée, ni sur la continuité que j'ai admise entre cette zone et celle du Gailthal, en passant par le Penser Joch, Bruneck et Sillian.

C'est exactement cette même bande que M. Termier vient à son tour d'envisager comme la ligne axiale des Alpes, d'où, ajoute-t-il, « sont parties, vers le nord ou l'ouest, toutes les nappes supérieures, celles d'Autriche, de Bavière, de Suisse ou de France ».

On sait que M. Lugeon tend finalement à chercher la racine de ses Préalpes médianes dans cette même zone des amphibolites d'Ivrée. J'ai indiqué tout-à-l'heure les raisons qui m'ont amené à placer cette racine en avant de la zone du Briançonnais ou peut-être sous cette zone. Je ne crois pas que les Préalpes médianes aient laissé des témoins de leur existence à l'est des « Klippen » d'Iberg, car, si le Falknis constitue réellement un lambeau de nappe, et M. Lugeon semble bien l'avoir démontré, il représente évidemment la nappe de la Brèche, puisque des brèches jurassiques analogues à celles du Chablais et de la Hornfluh s'y rencontrent. Il est manifeste dès lors que le Rhätikon appartient à une nappe supérieure à toutes les nappes des Alpes suisses. J'ai fait voir dès 1899 (III, 28) la possibilité de chercher sa racine dans la zone des amphibolites d'Ivrée; cette hypothèse, qui ne me paraissait pas démontrable dans l'état de nos connaissances à cette époque, est devenue aujourd'hui pour moi presque une certitude.

Logiquement le charriage du Rhätikon entraîne la même conséquence pour toute la large zone des *Alpes calcaires septentrionales*, et la racine ne peut en être cherchée que dans la continuation orientale de la zone des amphibolites d'Ivrée, dans la zone du Gailthal. Plusieurs membres du Congrès géologique international ont eu à Vienne, au mois d'août dernier, l'heureux privilège d'entendre M. Suess développer cette nouvelle conception

des Alpes orientales. M. Termier a émis la même hypothèse (1), en partant de l'étude de la zone centrale.

Deux excursions entreprises dans le Salzkammergut, la seconde en compagnie de M. Maurice Lugeon, m'ont convaincu, au mois d'août dernier, de l'existence, dans cette région des Alpes calcaires septentrionales, de quatre nappes superposées, caractérisées chacune par des faciès particuliers du Trias. La juxtaposition, dans les environs de Hallstatt, de plusieurs faciès synchroniques du Trias, et en particulier du Keuper, n'avait pas reçu encore d'explication satisfaisante, car M. Edm. von Mojsisovics envisage les deux îles de calcaire du Dachstein comme des « canaux », sans se prononcer davantage sur les causes du développement hétéropique. Or ces « canaux » sont en réalité des « fenêtres » dans la nappe du Dachstein-Kalk, qui permettent d'apercevoir le substratum, composé lui-même de plusieurs nappes superposées. Voici, d'après nos observations (III, 36), comment sont composées les quatre nappes que nous avons pu reconnaître.

Dans la *nappe inférieure*, qui est probablement elle-même charriée, les couches triasiques n'affleurent que dans le massif de l'Osterhorn sous la forme de « Plattenkalk ». C'est le terme le plus élevé du Trias, il supporte une série jurassique très remarquable, étudiée jadis par MM. Suess et von Mojsisovics, qui débute par le Rhétien et se termine par le Tithonique. Dans les environs de Hallein, ce Tithonique supporte, en concordance, les couches néocomiennes du Rossfeld. Ailleurs, et en particulier à Gosau, on ne connaît de la nappe inférieure que les couches du Crétacé supérieur, qui, loin de former des dépôts de fjords ou des témoins conservés dans des vallées synclinales, apparaissent en réalité à travers des « fenêtres » des nappes supérieures.

La *seconde nappe* repose soit sur les couches de Gosau, soit sur le Néocomien, soit encore, comme à Berchtesgaden, sur le Lias (Gümbel). Elle est constituée par les couches de Werfen, par les formations salifères, qui appartiennent probablement au Trias moyen, et par les marnes du Zlambach, qui représentent le Trias supérieur, le Rhétien et la base du Lias.

C'est sur ce substratum, d'une épaisseur très variable, que repose la *troisième nappe*, caractérisée par le faciès à Céphalopodes des fameux calcaires de Hallstadt, qui appartiennent au Virglorien, au Carnien et au Norien. Le Jurassique y est représenté par plusieurs termes, en particulier par le Tithonique coralligène.

Partout, cette série est séparée par des surfaces de contact anormal des

(1) *C. R. Ac. Sc.*, 30 nov. 1903.

calcaires du Dachstein, puissante masse de calcaires à *Megalodon*, qui représente le Trias supérieur et probablement le Rhétien, et supporte les couches liasiques du Hirlatz. Ils forment la quatrième nappe et ses falaises entourent comme des murailles les « fenêtres » dont il était question plus haut.

J'ai pu constater qu'à la Neue Welt, dans les environs de Vienne, la succession est tout à fait analogue : les couches de Werfen et les calcaires de Hallstadt semblent former des lames entre les couches de Gosau, qui constituent le terme le plus profond, et les calcaires du Dachstein, qui occupent les sommets. Les phénomènes de recouvrement s'étendraient donc à l'ensemble des Alpes calcaires septentrionales.

La nappe supérieure seule paraît provenir de la zone du Gailthal et il est probable que nous ignorerons encore longtemps l'emplacement des racines des nappes inférieures.

Tunisie et Sicile. — A la suite d'un voyage en Tunisie, j'ai publié, en outre des résultats d'observations personnelles faites en collaboration avec M. Ficheur (voir plus haut), un article général sur la géologie de la Tunisie (III, 20), basé sur les travaux de mes devanciers, mais dans lequel j'esquissais quelques conclusions, que j'ai développées plus tard dans une note spéciale (III, 24)..

Je ne parlerai pas ici des résultats stratigraphiques auxquels je me suis trouvé conduit, car j'ai repris, dans un travail ultérieur (II, 11), les faits qui sont relatifs aux transgressions marines et, en particulier, à celles de l'Oxfordien, du Portlandien, de l'Éocène supérieur.

J'ai reconnu que le trait dominant dans l'orographie de la Régence est la discontinuité des chaînons, dus à la disposition des couches en dômes et en cuvettes. Les dômes font affleurer, au milieu de vastes surfaces occupées par les terrains crétacés moyens et supérieurs, les terrains jurassiques et les terrains crétacés inférieurs; dans les cuvettes synclinales sont conservés des témoins des terrains tertiaires.

En cherchant à coordonner les alignements des dômes, j'ai constaté qu'ils forment des traînées en chapelet, qui souvent viennent converger et se soudent, ou bien viennent se relayer, de sorte qu'il est difficile de les suivre sur une grande longueur.

En me basant sur les documents existants, j'ai pu construire un essai de carte orotectonique, dont les travaux récents sont venus confirmer les grandes lignes. Dans le Sud seulement, les lignes directrices sont orientées W.-E. et les plis septentrionaux de cette région de la Tunisie se réfléchissent vers le nord, à l'approche des plaines de l'Est. Dans tout le Centre

et dans le Nord ce sont les alignements S.W.-N.E. qui prédominent. Quelques plis N.-S. viennent ahoutir au golfe de Tunis.

Les plis du Nord et du Centre ont leur prolongement dans la province de Constantine ; ils appartiennent à l'Atlas saharien, qui vient relayer les zones extérieures de l'Algérie et qui seul a sa continuation en Tunisie.

J'ai insisté sur la disposition en redans qui caractérise le bord méridional de l'Atlas saharien. Les chaînons, correspondant aux anticlinaux, sont presque tous dirigés du S.W. au N.E. ; ils ne sont donc pas parallèles aux bords de la zone, qu'ils coupent obliquement. J'ai signalé cette disposition depuis le Maroc jusque dans le pays des Nemenchas, étudié par M. Blayac. Dans le Sud tunisien elle n'existe pas.

J'ai également retracé, d'après les travaux des géologues italiens, les grandes lignes de la géologie de la Sicile (III, 30).

Après avoir résumé les documents relatifs aux terrains qui prennent part à la constitution de l'île, j'ai exposé brièvement l'histoire des mouvements orogéniques. Puis j'ai donné un aperçu général de la tectonique. Voici les principaux faits que j'ai mis en lumière.

Dans le Nord de l'île, les Caronie forment une chaîne dirigée W.-E., qui se continue à l'ouest par les Madonie, où les plis s'infléchissent vers le N.W. Dans le Sud les plis sont discontinus ; ils subissent des surélévations d'axes, qui donnent naissance aux massifs de Chiusa et du Monte Judica, tandis que les abaissements d'axe déterminent leur ennoyage dans les deux bassins miocènes.

Les monts Péloritains doivent être envisagés comme une partie du massif ancien de la Calabre. Ils sont limités au sud par une bande de terrains secondaires plissés, qui s'étend de Santa Agata à Taormina et qui est coupée par la mer sur la côte nord et sur la côte sud-est. Le massif ancien de la Calabre est, de même, limité au nord par une bande tout à fait homologue, qui s'étend avec une direction W.N.E.-E.S.E., du golfe de Policastro au golfe de Tarente. J'ai supposé que ces deux bandes étaient primitivement continues et formaient une bande unique, qui contournait à l'est le massif de la Calabre. C'est par cette bande que se serait opérée la jonction des plis de l'Apennin avec ceux de la Sicile septentrionale. Ceux de la Sicile occidentale et méridionale appartiendraient à une zone concentrique à la précédente, mais plus extérieure par rapport au massif de la Calabre.

Je me suis tout particulièrement préoccupé de discuter les relations tectoniques qui ont pu exister entre la Sicile et l'Afrique septentrionale.

De même que, dans l'Est de la Tunisie, les plis tendent à prendre une direction N.-S., dans l'Ouest de la Sicile ils s'infléchissent nettement vers

le N.W. et même, dans les îles Égates, vers le N.N.W. En supposant prolongés jusqu'à leur intersection les plissements de la Tunisie et ceux de la Sicile, on voit que leurs directions se coupent de manière à former un angle très aigu. Si l'on suppose que ces plis se raccordent réellement de part et d'autre, on est obligé d'admettre qu'ils décrivent une courbe à rebroussement, une « Schaarung », comparable à celles que M. Suess a signalées dans l'Asie Mineure. L'analogie est même telle que l'existence d'un rebroussement est des plus vraisemblables. Elle est confirmée par la présence d'une ligne volcanique qui est jalonnée par les îles Pantellaria et Linosa et qui forme précisément la tangente commune aux deux branches de la courbe. Or j'ai montré que plusieurs chaînes de montagnes, qui forment ainsi des courbes à rebroussement, sont accompagnées de fractures volcaniques coïncidant avec l'arête de rebroussement (II, 11).

J'avais été amené précédemment, par la comparaison des faciès, à la conclusion que les plis de la Tunisie se continuaient à travers la mer Tyrrhénéenne, dans l'Apennin transtévérin, dont la structure et la composition géologique ressemblent d'une manière frappante à celles de la Tunisie. Il est probable qu'un géocynclinal reliait en effet, à l'époque secondaire, les deux pays, mais, conformément à une règle assez fréquente, la formation des derniers plissements a eu lieu suivant un dessin plus compliqué. Dans tous les cas, nous sommes loin du raccordement de la Tunisie et de la Sicile par des lignes directrices W.-E., que l'on trouve encore reproduites dans les schémas les plus récents.

Histoire géologique des Continents. — Les études paléogéographiques montrent que les masses continentales des temps primaires et secondaires différaient considérablement comme forme et comme emplacement des continents actuels. En partant de la situation qu'occupent les géosynclinaux à la surface de la sphère terrestre et en généralisant la constatation qu'ils sont ordinairement situés entre deux masses continentales, j'ai pu délimiter approximativement les contours de cinq anciens continents, bien différents, même comme situation, des continents actuels. Pour quatre d'entre eux je n'ai d'ailleurs fait que développer et compléter les résultats auxquels étaient arrivés Neumayr et M. Suess. Voici les noms sous lesquels j'ai étudié ces continents :

1° Continent nordatlantique;
2° Continent sino-sibérien;
3° Continent africano-brésilien;
4° Continent australo-indo-malgache;
5° Continent pacifique.

Pour reconstituer les vicissitudes qu'ont traversées ces cinq masses continentales, je me suis basé à la fois sur des faits d'ordre géologique et sur des considérations tirées des données zoogéographiques (II, 11).

L'existence du *continent nordatlantique*, de l' « Atlantide » de M. Suess, est aujourd'hui généralement admise. La symétrie des plissements dans le continent nordaméricain et dans le Nord de l'Europe, les relations paléontologiques entre les dépôts secondaires et nummulitiques des Antilles et ceux des régions méditerranéennes, l'identité dans la succession des faunes de Mammifères aux États-Unis et dans l'Europe occidentale, tels sont les faits qui ont été invoqués en faveur d'une ancienne continuité entre les massifs anciens de l'Amérique du Nord et ceux de l'Europe septentrionale. J'ai montré que ce continent, qui subsistait sans doute encore à l'époque oligocène, était séparé de l'Asie et de l'Afrique jusqu'à une époque relativement récente. L'arrivée brusque en Europe de types cryptogènes, tels que les Proboscidiens et les Singes catarhiniens, au début du Miocène, indique qu'à cette époque de nouvelles communications se sont établies. L'Europe est désormais reliée à l'Afrique, l'Amérique du Nord à l'Asie.

Les Singes de l'Ancien Monde ne pénètrent pas en Amérique et les Mastodontes y arrivent plus tard qu'en Europe. Inversement, les Camélidés, d'origine américaine, manquent dans les dépôts néogènes d'Europe, mais envahissent l'Asie de l'est vers l'ouest. Enfin, la faune dite « holarctique », vraisemblablement originaire du Nord de l'Asie, prend possession, au début du Pléistocène, de l'Europe et des régions septentrionales du continent nordaméricain, où elle refoule vers le sud les faunes néogènes.

Le *continent sino-sibérien* résulte, ainsi que je l'ai démontré, de la soudure de plusieurs unités continentales, probablement encore distinctes à la fin des temps paléozoïques. Ce n'est que plus tard qu'il s'est accru des chaînes littorales du Nord de la Sibérie et des zones de plissements constituant les arcs iranien, himalayen et malais de M. Suess. Les documents paléontologiques ne nous apprennent rien sur les faunes terrestres de l'Asie antérieurement au Miocène.

Le *continent africano-brésilien* ou « brasiliano-éthiopien » de Neumayr n'a eu son individualité complète qu'au Jurassique. Antérieurement, le détroit de Mozambique n'existait probablement pas, et, postérieurement, c'est-à-dire dès le Crétacé supérieur, la séparation entre les deux noyaux anciens a dû commencer à se manifester. Au sud, ce continent était certainement isolé des terres antarctiques, car une mer réunissait au Dévonien la Patagonie et une semblable communication marine existait encore au Néocomien.

Les quelques affinités zoologiques actuelles entre l'Amérique du Sud et l'Afrique ont été également invoquées en faveur d'une ancienne jonction;

mais la séparation doit être ancienne, car le principal élément archaïque parmi les Mammifères d'Afrique, le groupe des Hyracoïdés, entièrement étranger aux faunes néogènes d'Europe et d'Asie, n'est représenté, dans l'Amérique du Sud, que dans les couches à *Pyrotherium*, c'est-à-dire dans l'un des horizons à Mammifères les plus anciens.

D'autre part, aucun des éléments caractéristiques de la faune santacruzienne n'a encore été trouvé en Afrique. Au Miocène, la séparation était donc entièrement réalisée.

Il est un fait bien curieux, c'est que la faune actuelle de Madagascar et des Mascareignes a plus d'affinités avec celle de l'Amérique du Sud que celle de l'Afrique continentale. J'ai supposé qu'une partie de l'ancienne faune antémiocène qui peuplait le continent africano-brésilien s'était refugiée à Madagascar, à un moment où la grande île communiquait temporairement avec l'Afrique. Plus tard, lorsque cette communication s'était rétablie, la faune malgache n'avait pas eu à lutter avec la nouvelle faune africaine et avait évolué sur place.

L'existence d'un ancien continent sur l'emplacement actuel de l'Océan Indien a été admise par beaucoup d'auteurs, c'est la « Lémurie » de Sclater et de Hartlaub ; c'est une partie du « continent de Gondwana » de M. Suess. J'ai proposé le nom de *continent australo-indo-malgache*, pour indiquer quels sont les témoins qui en subsistent encore aujourd'hui. Il est probable que certaines terres antarctiques en faisaient également partie. A l'ouest, il était séparé d'une manière intermittente du continent africano-brésilien, au moins depuis le début du Jurassique, par le détroit de Mozambique ; sur tout le reste de son pourtour il était entouré par un géosynclinal, sur l'emplacement duquel s'est formé, à la fin du Tertiaire, une zone de plissements.

L'autonomie complète de la faune australienne indique une séparation très ancienne de la partie orientale du continent. La séparation de Madagascar et de l'Inde péninsulaire est probablement de date beaucoup plus récente. M. Blanford conclut d'un examen des faunes qu'elle n'était pas encore réalisée à la fin du Crétacé. On a voulu inférer de la découverte du Cénomanien sur la côte est de Madagascar, au pied de la grande faille qui donne à cette côte son allure rectiligne, que le continent indo-malgache avait déjà cessé d'exister au milieu de la période crétacée. Je me suis élevé contre cette manière de voir, estimant que l'invasion de la mer sur une masse continentale n'implique pas le morcellement de cette masse. Le continent africain subsiste encore, quoiqu'il ait été envahi sur de grandes étendues par les transgressions mésocrétacées et éocènes. Toutes les aires continentales ont été ainsi le théâtre de grandes transgressions marines ; le morcellement n'est venu que plus tard.

Le *continent pacifique* est purement hypothétique, mais la présence d'un géosynclinal circumpacifique, dans lequel les conditions de sédimentation étaient les mêmes que dans la « Thetys », m'a conduit à admettre, par analogie, l'hypothèse d'une ancienne masse continentale sur l'emplacement de l'océan actuel. Huxley, G. Baur et d'autres ont conclu à l'existence de ce continent en se basant sur des considérations zoogéographiques. M. Burckhardt est arrivé peu après moi, en partant d'observations géologiques, à des conclusions analogues aux miennes. La situation périphérique des grandes fosses et le profil convexe du fond du Pacifique, faits sur lesquels M. de Lapparent a récemment insisté, montrent l'analogie *même actuelle* de la région pacifique avec le relief d'un continent. Le seuil granitique ou gneissique de certaines îles du grand Océan corrobore aussi l'hypothèse d'une submersion récente.

J'ai établi que le morcellement des aires continentales anciennes pouvait se produire de deux manières différentes : 1° par la différenciation, dans les zones de plissement, d'aires de surélévation et d'aires d'ennoyage, suivie d'une *ingression* de la mer dans ces dernières ; 2° par la formation de grandes fractures et l'effondrement, suivant ces lignes de dislocation, de voussoirs de l'écorce terrestre, phénomène entraînant l'*irruption* de la mer dans les fosses.

Les aires de surélévation et les aires d'ennoyage sont des accidents transversaux dans les zones de plissement, j'en ai décrit des exemples qui mettent bien en évidence leur rôle. J'ai montré qu'elles sont le siège de mouvements verticaux, qui doivent être envisagés comme donnant lieu à des variations dans le degré de surélévation ou d'ennoyage. Ces oscillations sont de même ordre que celles qui affectent les aires continentales, où elles se manifestent par des alternances de transgressions et de régressions marines. Les auteurs américains les désignent sous le nom de mouvements « épéirogéniques », par opposition aux mouvements « orogéniques ».

Les aires de surélévation sont souvent entourées par des dépressions périphériques analogues aux géosynclinaux, quoiqu'elles ne soient pas le siège d'une aussi grande accumulation de sédiments et qu'il ne s'y forme que des plissements « posthumes ». J'ai fait ressortir les homologies entre la ceinture qui entoure le massif finno-scandinave ou « bouclier scandinave » et celle qui entoure le « bouclier canadien ». J'ai montré qu'en Europe cette ceinture comprenait le Timan, les contreforts de l'Oural, les montagnes du Donetz et de la Pologne, les collines subhercyniennes ; elle aboutit au Yorkshire.

En Amérique les contreforts des Appalaches, les monts Ouachita et les Montagnes Rocheuses ont une situation identique par rapport au massif

canadien. Les homologies ne portent pas seulement sur le caractère des plissements, mais encore sur la composition de la série sédimentaire dans les deux ceintures et elles se retrouvent même dans les formations marines de l'époque pléistocène. Les oscillations verticales des deux massifs anciens se continuent jusqu'à nos jours; il m'a semblé qu'il était difficile de ne pas voir une relation de cause à effet entre ces mouvements et ceux de la zone périphérique. L'analogie est dans tous les cas manifeste avec les rapports qui existent entre les mouvements des géosynclinaux et ceux des aires continentales.

Si le morcellement par l'individualisation des aires de surélévation prédomine dans certains continents, ailleurs c'est l'effondrement suivant de grandes lignes de fracture qui est la règle. Ainsi, l'effondrement du continent australo-indo-malgache semble avoir été favorisé par de grandes failles dirigées N.-S, telles que celles qui forment la côte est de Madagascar et la ligne des Laquedives, des Maldives et des Chagos. Dans la partie centrale du Pacifique prédominent, par contre, les alignements N.W.-S.E.

J'ai attribué la séparation de l'Europe et de l'Amérique du Nord, celle de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, non pas, comme on le fait d'ordinaire, à des effondrements, mais à la formation graduelle d'un immense géosynclinal au travers du continent nordatlantique et du continent africano-brésilien. Actuellement même, ce géosynclinal serait dédoublé par la formation d'un géanticlinal médian, la crête du Dolphin et du Challenger, qui suit l'axe de l'océan parallèlement à ses deux bords.

Quant au continent sino-sibérien c'est une masse essentiellement stable qui n'a subi de morcellement d'aucune sorte.

Théorie orogénique. — Les oscillations des aires continales et celles des géosynclinaux étant, comme le montre l'étude des transgressions et des régressions, synchroniques, mais de signe différent, j'ai admis qu'il existe entre les deux mouvements, non pas un rapport fortuit, mais une relation de cause à effet, qui peut être conçue de deux manières différentes (V, 8, Tectonique).

Si le phénomène primordial est l'oscillation verticale des aires continentales, il est évident que tout mouvement négatif de deux aires voisines déterminera une compression du géosynclinal intermédiaire et que tout mouvement positif donnera lieu, par contre, à une décompression de ce géosynclinal. Dans le premier cas, le géosynclinal sera écrasé transversalement, comme s'il était pris entre les deux mâchoires d'un étau, et il se formera des plissements. Dans le deuxième cas, il se produira un tassement et un approfondissement du géosynclinal.

Si, au contraire, on admet que les mouvements primordiaux résident dans les géosynclinaux, il est manifeste qu'une contraction, qu'une striction d'un géosynclinal déterminera une diminution de la pression latérale sur les bords des deux aires continentales avoisinantes et qu'un tassement du géosynclinal déterminerait, par contre, une augmentation de la pression latérale sur les bords de ces aires, et par suite, une surrection, c'est-à-dire un mouvement épéirogénique. Dans le cas de la décompression, la voûte s'affaisserait et pourrait même s'effrondrer, ce qui a été le sort final de quelques aires continentales.

Quant aux causes premières de l'un ou de l'autre phénomène, elles sont forcément difficiles à connaître. Deux théories orogéniques principales se trouvent aujourd'hui en présence et ont chacune leurs chauds partisans : celle de la contraction de l'écorce terrestre par suite du refroidissement et celle de l'isostasie. J'ai fait appel aux deux théories.

J'ai admis, conformément à la théorie de l'isostasie, que les aires continentales possèdent une tendance à se soulever, puisque, dans ces régions, la valeur de la pesanteur qui convient à la forme ellipsoïdale de la Terre n'est pas atteinte ; que, par contre, le fond des géosynclinaux tendrait à s'affaisser en raison de l'excès de pesanteur résultant de l'accumulation des sédiments. Pour expliquer pourquoi ces deux mouvements ne continuent pas indéfiniment à agir en sens contraire, j'ai supposé que c'est la diminution du rayon terrestre par le refroidissement de la planète qui amène l'affaissement des aires continentales et, par suite, la compression latérale des géosynclinaux et leur plissement suivi de surrection. Les mouvements de l'écorce terrestre résulteraient de l'action antagoniste de la contraction et des poussées isostatiques.

IV. — CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

1. Carte géologique des Chaînes Subalpines entre Gap et Digne. 1/200000. (Thèse). 1891.
2. Feuille de Montbéliard (région triasique, en collaboration avec M. Kilian). 1891.
3. Feuille d'Ornans (région sud-ouest, en collaboration avec M. Kilian). 1893.
4. Feuille d'Annecy (chaîne des Aravis et achèvement des contours de Maillard). 1894.
5. Feuille d'Albertville (synclinal de Serraval, en collaboration avec M. Lugeon ; chaîne de Belle-Étoile). 1897.
6. Feuille de Digne (nord et centre de la feuille). 1899.
7. Feuille de Gap (sud et centre de la feuille, coordination des tracés). A la gravure.
8. Feuille de Larche (angle sud-ouest, en collaboration avec M. Kilian). A la gravure.
9. Carte géologique du synclinal du Reposoir et des massifs des Annes et de Sulens (en collab. avec M. Lugeon). 1/50000. Inédite.
10. Carte géologique de l'Ubaye (en collab. avec M. Kilian). 1/50000. Inédite.

J'ai effectué mes premiers levés géologiques en Alsace, sur les feuilles de Niederbronn et de Woerth de la carte topographique de l'Alsace-Lorraine au 1/25 000. Mon départ de Strasbourg ne m'a pas permis d'achever ce travail, mais mes minutes ont été utilisées dans les publications de la Commission géologique d'Alsace-Lorraine.

Depuis que M. Michel-Lévy a bien voulu m'attacher comme collaborateur au Service de la Carte géologique de France, c'est-à-dire depuis 1888, je consacre tous les ans, pendant les vacances, 6 à 10 semaines à des travaux cartographiques sur le terrain. En dehors de quelques courtes campagnes dans le Jura, en compagnie de M. Kilian, j'ai concentré tous mes efforts sur deux régions des Alpes, dont l'une tout au moins est d'un abord particulièrement difficile : c'est, d'une part, une large bande, appartenant aux départements des Hautes-Alpes et des Basses-Alpes, qui s'étend de la haute vallée du Drac, au nord, à la vallée de l'Asse, au sud ; c'est, d'autre part, une région assez étendue de la Haute-Savoie, comprenant principalement les environs de Sallanches et de Faverges.

Ces deux régions sont actuellement entièrement levées au 1/50 000. J'ai entrepris également des levés plus détaillés au 1/50 000, dans des parties où la structure géologique est extrêmement compliquée.

J'ai résumé plus haut les principaux résultats de mes seize années de courses dans les Alpes françaises.

V. — TRAVAUX BIBLIOGRAPHIQUES ET DIDACTIQUES. DIVERS

1. Analyse des ouvrages relatifs aux systèmes triasique et jurassique dans l'*Annuaire géologique universel*. 1886-1889.
2. Analyse des ouvrages relatifs à la Géologie de l'Allemagne et de la Suisse dans l'*Annuaire géologique universel*. 1886-1889.
3. Analyse des ouvrages relatifs aux Céphalopodes dans l'*Annuaire géologique universel*. 1886-1891.
4. Les enchaînements des Échinodermes, d'après Neumayr. *Ann. géol. univers.*, t. VI, p. 989-997. Paris, 1891.
5. Le Trias alpin. *Revue génér. des Sc.*, 4e ann., p. 241-246. Paris, 1893.
6. Revue annuelle de Géologie. *Ibid.*, 1893-1903.
7. Analyse des travaux relatifs aux Alpes occidentales. *Ann. de Géogr.*, 1893-1900.
8. Articles : Jurassique, Kimeridgien, Lias, Néocomien, Néogène, Nummulitique, Oligocène, Oxfordien, Parisien, Précambrien, Primaire, Primitif, Primordial, Portlandien, Quaternaire, Rhétien, Secondaire, Sédiments, Sénonien, Silurien, Suessonien, Tectonique, Tertiaire, Trias, Turonien, Wealdien. *Grande Encyclopédie*. 1894-1902.
9. Analyse des travaux relatifs aux Céphalopodes. *Revue crit. de Paléozool.* 1898-1903.
10. Analyses diverses dans la *Revue géologique* (« Geologisches Centralblatt »). 1900-1903.
11. Allocutions présidentielles. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 4e sér., t. II, p. 2-3, t. III, p. 2-3, p. 349-356. 1902-1903.
12. Allocution prononcée au nom de la Société géologique de France, au *Jubilé de M. Albert Gaudry*, p. 44-46. 9 mars 1902.
13. Allocution prononcée au nom de la Société géologique de France et au nom du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, à l'occasion de la célébration du *Cinquantenaire scientifique de M. Jules Gosselet*, p. 22-24. 30 novembre 1902.
14. Le cycle des phénomènes géologiques. *La Science au XXe siècle*. 1re ann., p. 343-349. 1er déc. 1903.

Depuis l'année 1886, j'ai publié tous les ans, avec une courte interruption, dans des périodiques divers, des analyses critiques de travaux géologiques ou paléontologiques. J'ai analysé ainsi presque toutes les publications relatives aux Céphalopodes fossiles qui ont paru depuis cette époque. J'ai aussi rendu compte d'un certain nombre de travaux sur le Trias, sur le Jurassique, sur la géologie de l'Allemagne et de la Suisse. Depuis dix ans je fais paraître dans la *Revue générale des Sciences* une « Revue annuelle de Géologie », dans laquelle je me suis surtout efforcé de présenter au lecteur la mise au point des principales questions qui se trouvaient à l'ordre du jour. Je me suis ainsi trouvé obligé de me tenir au courant, dans la mesure du possible, de toutes les publications géologiques importantes.

J'ai donné à la *Grande Encyclopédie* un grand nombre d'articles, presque tous relatifs aux « terrains ». Je me suis appliqué à écrire ces articles, surtout les plus étendus, sur un plan uniforme, de sorte que leur ensemble constitue, avec quelques lacunes toutefois, un cours de géologie stratigraphique, sous une forme très résumée. Ce plan est d'ailleurs celui que j'ai adopté dans mes leçons à la Faculté des Sciences.

Après avoir résumé les caractères paléontologiques de chaque « système », je donne un aperçu de ses principaux faciès, puis je discute les questions relatives à sa délimitation et à ses subdivisions. Je développe plus particulièrement la répartition géographique en décrivant en détail les principaux types. Je m'attache à suivre dans cet exposé un ordre constant, basé sur des considérations paléogéographiques. Je commence par les régions septentrionales de l'Europe, s'il y a lieu, ou par le bassin anglo-parisien ; j'étudie ensuite l'extension du « terrain » dans les autres régions au nord de la zone des plissements alpins ; puis je décris le type alpin ou méditerranéen. C'est en somme une étude par bandes correspondant aux zones de plissement successives. J'adopte le même ordre pour les régions en dehors de l'Europe, mettant toujours en opposition les aires continentales, avec leurs séries transgressives, néritiques, séparées par de vastes lacunes, et les aires géosynclinales, avec leurs séries souvent continues, bathyales. En terminant je résume les données acquises sur la répartition des terres et des mers, sur les transgressions et les régressions marines, sur les provinces zoologiques et sur les climats.

Je compte me servir de ce même cadre dans un ouvrage didactique de géologie stratigraphique que je prépare et qui sera précédé de notions générales sur les « Phénomènes géologiques ». Cette première partie est déjà presque entièrement rédigée.

TABLE DES MATIÈRES